



**Biometanização e o Estudo de Caso da  
Usina de Metanização de Resíduos  
Orgânicos e Aproveitamento Energético de  
Biogás (TMethar) localizada na UTR-  
Caju/COMLURB no Rio de Janeiro**

Alberto Wagner Medina Junior

Monografia em Química Industrial

Orientador: Marcelo Mendes Viana, Professor Doutor

Agosto, 2021

**BIOMETANIZAÇÃO E O ESTUDO DE CASO DA USINA  
DE METANIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E  
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS  
(TMETHAR) LOCALIZADA NA UTR-CAJU/COMLURB  
NO RIO DE JANEIRO**

Alberto Wagner Medina Junior

Monografia em Química Industrial submetido ao Corpo Docente da Escola de Química como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Químico Industrial.

Aprovado por:

---

Valéria Castro de Almeida, D.Sc.

---

Tatiana Fernandes de Oliveira, D. Sc.

Orientado por:

---

Marcelo Mendes Viana, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto de 2021

Wagner, Alberto Medina Junior.

Biometanização e o Estudo de Caso da Usina de Metanização de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento Energético de Biogás (TMethar) localizada na UTR-Caju/COMLURB no Rio de Janeiro/Alberto Wagner Medina Junior. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021. 67 p. (Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021. Orientador: Marcelo Mendes Viana.

1. Biometanização. 2. Biogás. 3. Resíduo orgânico. 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Marcelo Mendes Viana. D. Sc.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao vazio existencial que me manteve pensando em desistir de tudo, mas a indiferença da vida me manteve seguindo.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Químico-Industrial.

**BIOMETANIZAÇÃO E O ESTUDO DE CASO DA USINA DE  
METANIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS E APROVEITAMENTO  
ENERGÉTICO DE BIOGÁS (TMETHAR) LOCALIZADA NA UTR-  
CAJU/COMLURB NO RIO DE**

Alberto Wagner Medina Junior

Agosto, 2021

Orientador: Prof. Marcelo Mendes Viana, D. Sc.

Neste trabalho será realizado um levantamento bibliográfico a respeito do tratamento resíduos sólidos, examinando as perspectivas de tratamentos viáveis dos resíduos, tendo em foco os processos tratamento biológicos anaeróbios por biometanização que promove a conversão da parte biodegradável dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e parcialmente os transformam em produtos que podem ser reaproveitados ou que minimizem os impactos do descarte em aterros. Nesse contexto será apresentado o caso da Usina de Metanização de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento Energético de Biogás (TMethar) localizada na Unidade de Transferência de Resíduos UTR-Caju/Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) no Rio de Janeiro, também serão apresentadas possíveis melhorias na gestão integrada de resíduos no município do Rio de Janeiro, identificando o estado atual e o possível espaço para adaptação e aprimoramento da tecnologia de tratamento biológico por biometanização. No processo da usina da TMethar na UTR-Caju no Rio de Janeiro, a alternativa de reatores (MESB) se apresenta como uma solução prática, permitindo, mesmo que de maneira incipiente, um maior reaproveitamento dos resíduos e menor emissão de gases estufa. Pelo processo da TMethar há vantagem operacional do sistema, uma vez que não requer pré-tratamento e a batelada necessita de poucas variações operacionais ao longo da digestão, facilitando a operação. Em relação a incineração e aterros sanitários, o processo de biometanização apresenta-se como aquele que gera mais produtos utilizáveis (biogás e o material digerido) e que enterra no solo o carbono presente no material digerido, caso ele possua características necessárias para aplicação agrícola. A utilização do processo de biometanização vai de acordo com a Lei 12305/2010, no que se refere a utilizar a FORSU e a considerar um recurso. Pelo fato de gerar um material digerido que pode estocar carbono no solo, a biometanização também vai de acordo com a Lei Municipal de Mudanças Climáticas 5248/2011, que considera a necessidade de redução da emissão de gases estufa.

## Sumário

|   |      |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS .....  | vi   |
| LISTA DE TABELAS.....   | viii |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....                                      | ix   |
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 1    |
| 2. OBJETIVOS .....  | 2    |
| 2.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....  | 2    |
| 2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....  | 2    |
| 3. METODOLOGIA.....   | 3    |
| 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....  | 3    |
| 4.1. LEI 12305/2010: POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....          | 3    |
| 4.2. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....                  | 7    |
| 4.3. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE RSU .....                                   | 11   |
| 4.3.1. Aterros sanitários, aterros controlados e lixões.....              | 11   |
| 4.3.2. Tratamento térmico .....   | 16   |
| 4.3.3. Tratamento biológico .....   | 20   |
| 4.3.3.1. Compostagem aeróbia .....  | 20   |
| 4.3.3.2. Digestão anaeróbica.....   | 22   |
| 4.3.3.2.1 Biometanização.....   | 26   |
| 4.4. GESTÃO DE RSU NO BRASIL.....   | 31   |
| 4.4.1. Composição gravimétrica do RSU no Brasil .....                     | 32   |
| 4.4.2. Reciclagem do RSU no Brasil.....                                   | 33   |
| 4.5. GESTÃO DE RSU NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO .....                   | 34   |
| 4.5.1. Diagnostico dos resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro ..... | 36   |
| 4.5.2. Situação de reutilização, coleta seletiva e reciclagem.....        | 37   |
| 5. BIOMETANIZAÇÃO E O ESTUDO DA UNIDADE DO CAJU .....                     | 38   |
| 6. POSSÍVEIS MELHORIAS NA GESTÃO DE RSU NO RIO DE JANEIRO .....           | 56   |
| 7. CONCLUSÕES .....   | 60   |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                       | 61   |
| 9. ANEXOS.....  | 70   |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> - Ordem de prioridades para gestão de resíduos sólidos. Fonte: Themelis e Bourtsalas (2019). .....  | 6  |
| <b>Figura 2</b> - Classificação de resíduos. Fonte: ABNT 10004 (2004). .....  | 9  |
| <b>Figura 3</b> - Esquema simplificado de aterro sanitário. Fonte: IPT/CEMPRE (2000). .....   | 12 |
| <b>Figura 4</b> - Estação de tratamento de líquidos percolados. Fonte IPT/CEMPRE (2000). .....  | 14 |
| <b>Figura 5</b> - Recomendação de fluxo de operação de aterro sanitário. Estação de tratamento de líquidos percolados. Fonte IPT/CEMPRE (2000). .....   | 15 |
| <b>Figura 6</b> - Unidades implementadas de monitoramento em aterro. Fonte IPT/CEMPRE (2000). .....   | 16 |
| <b>Figura 7</b> - Diagrama representando o sistema de incineração. Fonte: Adaptado de Beynne et al (2018). .....  | 17 |
| <b>Figura 8</b> - Desenvolvimento da temperatura na pilha de compostagem em função do tempo, as fases, principais materiais e organismos envolvidos. Fonte: Adaptado de HUBBE et al (2010). .....     | 21 |
| <b>Figura 9</b> - Efeito da temperatura ótima no processo de digestão anaeróbia. Fonte: Adaptado de Mata Alvarez (2015). .....  | 25 |
| <b>Figura 10</b> - Processo BTA de digestão “úmido-úmido”. Fonte: Adaptado de Mata-Alvarez (2015). .....  | 29 |
| <b>Figura 11</b> - Esquema simplificado de processo de DA monofásico úmido. Fonte: Mata-Alvarez (2015). .....   | 30 |
| <b>Figura 12</b> - Composição dos resíduos sólidos urbanos. Fonte: ABRELPE (2020). .....  | 32 |
| <b>Figura 13</b> - Massa de resíduos sólidos recuperada dos municípios participantes. Fonte: Adaptada de SNIS (2019). .....   | 34 |
| <b>Figura 14</b> - Emissões por setor (%) de um total de 22 milhões de toneladas equivalente de CO <sub>2</sub> . Fonte: Adaptado de PMGIRS do Rio de Janeiro (2016). .....                           | 35 |
| <b>Figura 15</b> - Composição dos resíduos domiciliares. Fonte: Adaptado de PMGIRS (2016). ....   | 36 |
| <b>Figura 16</b> - (A) Reatores de Metanização em Estado Sólido por Bateladas (MESB); (B) MESB sem a FORSU; (C) FORSU (sem pré-tratamento; (D) MESB com a FORSU. <b>Erro! Indicador não definido.</b> |    |
| <b>Figura 17</b> - Tratamento preliminar do lixiviado por gradeamento duplo. <b>Erro! Indicador não definido.</b>   |    |

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <b>Figura 18</b> - UPI ou Unidade de produção e inóculo (A); Sistema de aspersão no interior do túnel reator (B).....                             | <b>Erro! Indicador não definido.</b> |
| <b>Figura 19</b> - Material digerido. ....  | 43                                   |
| <b>Figura 20</b> - Sistema de compostagem.....  | 44                                   |
| <b>Figura 21</b> - Bolsa têxtil com pressurizador para armazenamento de biogás. ....  | 45                                   |
| <b>Figura 22</b> - Dessulfurização químico biológica do biogás. Parte inferior (A) e superior (B) da coluna. ....                                 | 46                                   |
| <b>Figura 23</b> - Flare para queima do biogás. ....  | 47                                   |
| <b>Figura 24</b> - Uso do biogás na geração de energia térmica ou elétrica. ....  | 48                                   |
| <b>Figura 25</b> - Modelo esquemático da planta TMethar que descreve alguns detalhes da tecnologia de TMBS. Fonte: Franca e Ferreira (2020). .... | 49                                   |
| <b>Figura 26</b> - Descarregamento da FORSU.....  | 51                                   |
| <b>Figura 27</b> - MESB com a FORSU disposta em seu interior (A); Detalhe da porta com fechamento hermético (B). ....                             | 52                                   |
| <b>Figura 28</b> - Monitoramento dos componentes do biogás. ....  | 53                                   |
| <b>Figura 29</b> - Motor gerador movido a biogás.....   | 54                                   |
| <b>Figura 30</b> - Tratamento com casca de coco para biogás com 8% de metano.....   | 55                                   |
| <b>Figura 31</b> - Tipo, composição e destino dos resíduos coletados pela COMLURB. Fonte: Adaptado de PMGIRS (2016). ....                         | 59                                   |



## **LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1** - Valores gerais de inibição em digestão de RSU.....25

**Tabela 2** - Relação de efeitos e distúrbios no processo de digestão anaeróbia.....26

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

ABRELPE – Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais

AGV – Ácidos graxos voláteis

BH – Bactéria homoacetogênicas

BM – Bactérias metanogênicas

BMA – Bactérias metanogênicas acetoclásticas

BRN – Bactérias redutoras de nitrato

BRS – Bactérias redutoras de sulfato

CH<sub>4</sub> – Metano

CHP – *Combined Heat and Power*

CN<sup>-</sup> – Íons Cianeto

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

COMLURB – Companhia de Limpeza Urbana

CTR – Centro de tratamento de resíduos

DA – Digestão anaeróbia

DNA – ácido desoxirribonucleico

DPRSCRJ – Diagnóstico Preliminar de Resíduos Sólidos da cidade do Rio de Janeiro

DQO – Demanda química de oxigênio

ETE – Estação de tratamento de esgoto

FORSU – fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos

GEE – Gás do efeito estufa

GEE – Gases do Efeito Estufa

H<sub>2</sub>S – Ácido Sulfuroso

HAPs – Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

HCN – Ácido Cianídrico

HMB – Hydrogenfil methanogenic bacteria

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
kg – Kilograma  
m – Metro  
MESB – Metanização em Estado Sólido por Bateladas  
mm – Milímetro  
MW – Megawatt  
pH – Inverso do Logaritmo da Concentração de Hidrogênio  
PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos  
PNRS – Programa nacional de resíduos sólidos  
PVC – Policloreto de vinila  
RCC – Resíduos de construção civil  
RNA – Ácido ribonucléico  
RSS – Resíduos de Serviços de Saúde  
RSU – Resíduo Sólido Urbano  
 $S^{2-}$  – Sulfeto  
SNIS – Sistema nacional de informações sobre o saneamento  
t/dia – Tonelada por dia  
TMBS – Túneis de Metanização por Bateladas Sequenciais  
TOC – Teor de carbono orgânico  
UPI – Unidades de Produção de Inóculo  
USEPA – United States Environmental Protection Agency  
WtE – Waste to Energy

# 1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado e desordenado das cidades brasileiras, associado ao consumo, em larga escala, de resíduo gerado de forma difusa e descartado de maneira inadequada nas vias públicas, nos rios, nos terrenos baldios ou até mesmo queimado a céu aberto, dificulta a mensuração da massa gerada, além de causar graves impactos ambientais. Importante ressaltar que muitos destes resíduos são levados pelas águas pluviais até as drenagens, destas para os rios e daí para o mar, não sendo, portanto, coletados pelo serviço público de limpeza urbana. O lixo no mar ocasiona, por sua vez, prejuízos para a biodiversidade, turismo, pesca e segurança da navegação.

O Programa nacional de resíduos sólidos (PNRS) estabelece uma ordem de prioridade de ações a serem observadas quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, tratamento de resíduos sólidos e disposição ambientalmente adequada.

Com essa perspectiva em foco é possível entender que alternativas anteriores ao tratamento de resíduos são prioritárias, porém nem sempre é possível que seja feita essa separação. A taxa de recuperação de recicláveis em relação ao total coletado no ano de 2018 no Rio de Janeiro foi de 0,35%, enquanto, das capitais, a que mais reciclou foi São Luis com 5,44%, ou seja, a coleta seletiva e reciclagem ainda se mostram como fração muito pequena do tratamento de resíduos sólidos no Brasil.

Visto que os resíduos sólidos urbanos (RSU) do Brasil são compostos por pelo menos 50% de fração orgânica, ou seja, possuem uma grande parte composta de material orgânico biodegradável (SNIS, 2019), é então justificável um processamento dessa fração orgânica a fim de reduzir a sua disposição em aterros sanitários.

Considerando a fração orgânica dos RSU (FORSU) como recurso irá resultar em inúmeros impactos ambientais positivos como: aumentar o tempo de vida útil de aterros sanitários, diminuindo a necessidade de licenciamento de nova área no curto prazo; diminuição da necessidade de transporte rodoviário da FORSU até um aterro e consequente menor emissão de gases estufa e demais poluentes atmosféricos gerados pela queima de diesel em motores de combustão interna dos caminhões; menor massa de FORSU será disposta em aterro sanitário tendo como consequência menor geração de metano ( $\text{CH}_4$ ) e Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) nos processos de digestão anaeróbia existentes num aterro.

Nesse contexto a biometanização é um processo de digestão anaeróbia, conhecida como uma alternativa ambientalmente sustentável na gestão de RSU, que possui como material de

entrada a FORSU (restos de alimentos, estrume e resíduos agrícolas) e como produtos de saída o biogás como material gasoso e um material sólido com possíveis usos agrícolas (WID e HORAN, 2018).

Assim sendo, nesse estudo foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as principais formas de gestão de resíduos no Brasil, incluindo tratamento anaeróbio e biometanização. Realizou-se levantamento de dados estatísticos da gestão de resíduos no Brasil e município do Rio de Janeiro. Fez-se a exposição do estudo de caso da Usina de Metanização de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento Energético de Biogás (TMethar). Para finalizar, fez-se a proposição de melhorias na gestão de RSU no município do Rio de Janeiro levando em consideração a possibilidade de biometanização.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Neste trabalho será realizado um levantamento bibliográfico a respeito do tratamento resíduos sólidos, examinando as perspectivas de tratamentos viáveis dos resíduos, tendo em foco os processos tratamento biológicos anaeróbios por biometanização que promove a conversão da parte biodegradável dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e parcialmente os transformam em produtos que podem ser reaproveitados ou que minimizem os impactos do descarte em aterros. Nesse contexto será apresentado o caso da Usina de Metanização de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento Energético de Biogás (TMethar) localizada na Unidade de Transferência de Resíduos UTR-Caju/Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) no Rio de Janeiro.

### **2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

Apresentar possíveis melhorias na gestão integrada de resíduos no município do Rio de Janeiro, identificando o estado atual e o possível espaço para adaptação e aprimoramento da tecnologia de tratamento biológico por Biometanização.

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia desse trabalho foi desenvolvida tendo como base uma revisão bibliográfica a respeito das tecnologias de tratamento de resíduos sólidos, dando destaque para o tratamento anaeróbio e biometanização, processo para os quais foram apresentados mais detalhes. Logo depois, utilizando as informações obtidas na literatura sobre a gestão de RSU no Brasil e no município do Rio de Janeiro, combinadas com os dados levantados numa visita técnica na usina da TMethar localizada na UTR-Caju/COMLURB no Rio de Janeiro, foram propostas melhorias na gestão integrada de resíduos no município do Rio de Janeiro.

Assim sendo, nessa monografia temos uma divisão em três partes:

- Na primeira fez-se um levantamento bibliográfico sobre as principais tecnologias de tratamento resíduos, dando destaque ao tratamento anaeróbio e biometanização, além de informações estatísticas da gestão de RSU no Brasil e no município do Rio de Janeiro;
- Na segunda foi apresentado o estudo de caso da usina da TMethar;
- Na terceira parte foram expostas possíveis melhorias observadas para a utilização deste tipo de tratamento no município do rio tendo em vista suas especificidades.

### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Serão abordadas nessa seção algumas definições da Política Nacional de Resíduos Sólidos Brasileira, definida pela Lei 12305/2010 (**ANEXO A**), a classificação dos resíduos e os seus respectivos métodos de tratamento, destacando o tratamento biológico anaeróbio e a tecnologia de biometanização. Também serão apresentados dados estatísticos relacionados a gestão de RSU no Brasil e no Rio de Janeiro, o que irá fornecer informações sobre possíveis melhoria situação brasileira e a tecnologia de biometanização.

#### **4.1. LEI 12305/2010: POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

A Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), reúne em seu texto a normativa com objetivos, instrumentos, metas e ações a serem observadas por todas as esferas federais visando sua cooperação na disposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU), visando a não geração de resíduos, redução e o desenvolvimento sustentável (PNRS, 2010).

Os RSU, vulgarmente denominados por lixo urbano, são resultantes da atividade doméstica e comercial das povoações. A sua composição varia de população para população, dependendo da situação sócio-econômica e das condições e hábitos de vida de cada um.

É previsto nessa lei que a União Federal deverá elaborar plano nacional de resíduos sólidos vigente por 20 anos e com atualização a cada 4 anos, no qual muita informação é reunida e ajuda ao estudo da matéria em questão. O Plano nacional de resíduos sólidos se inicia com o diagnóstico da situação que se encontra no país a respeito dos RSU. O plano possui uma análise do cenário atual e uma projeção de como se encontrará o cenário nacional e internacional, além de caracterizar os sistemas de logística reversa implantados e seus resultados.

O plano conta com informações obtidas a partir do sistema nacional de informações sobre o saneamento (SNIS); do panorama dos resíduos sólidos no Brasil, publicado pela associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais (ABRELPE); de dados do instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

No plano se encontra a seguinte ordem de prioridade quanto ao que fazer com os RSU: não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar, tratar os resíduos sólidos e, caso não haja forma de tratamento, promover sua disposição ambientalmente adequada.

Dentre os princípios da PNRS pode-se observar cinco princípios importantes para a compreensão da legislação vigente e o seu plano: prevenção e precaução; poluidor pagador / protetor recebedor; desenvolvimento sustentável; responsabilidade compartilhada; o direito da sociedade à informação e ao controle social.

De acordo com PNRS (2010), pode-se resumir esses termos através da seguinte forma:

- Prevenção e precaução: visa proteger a sociedade de danos potenciais devido ao manejo incorreto;
- Poluidor pagador / protetor recebedor: dita que o poluidor é responsável pela reparação do dano através de custo ao poluidor, e o protetor aquele que recebe por esse dano;
- Desenvolvimento sustentável: seria o modelo de desenvolvimento econômico onde a integridade ambiental e social deve ser notada e integrada a esse desenvolvimento;
- Responsabilidade compartilhada: governo, empresas e cidadãos devem ter responsabilidade sobre os RSU, diminuindo assim o impacto causado por esse atributo resultante da atividade humana;
- Direito da sociedade à informação: prevê o acesso às informações sobre os resíduos sólidos através dos instrumentos de informação previstos em lei e sua publicação regular.

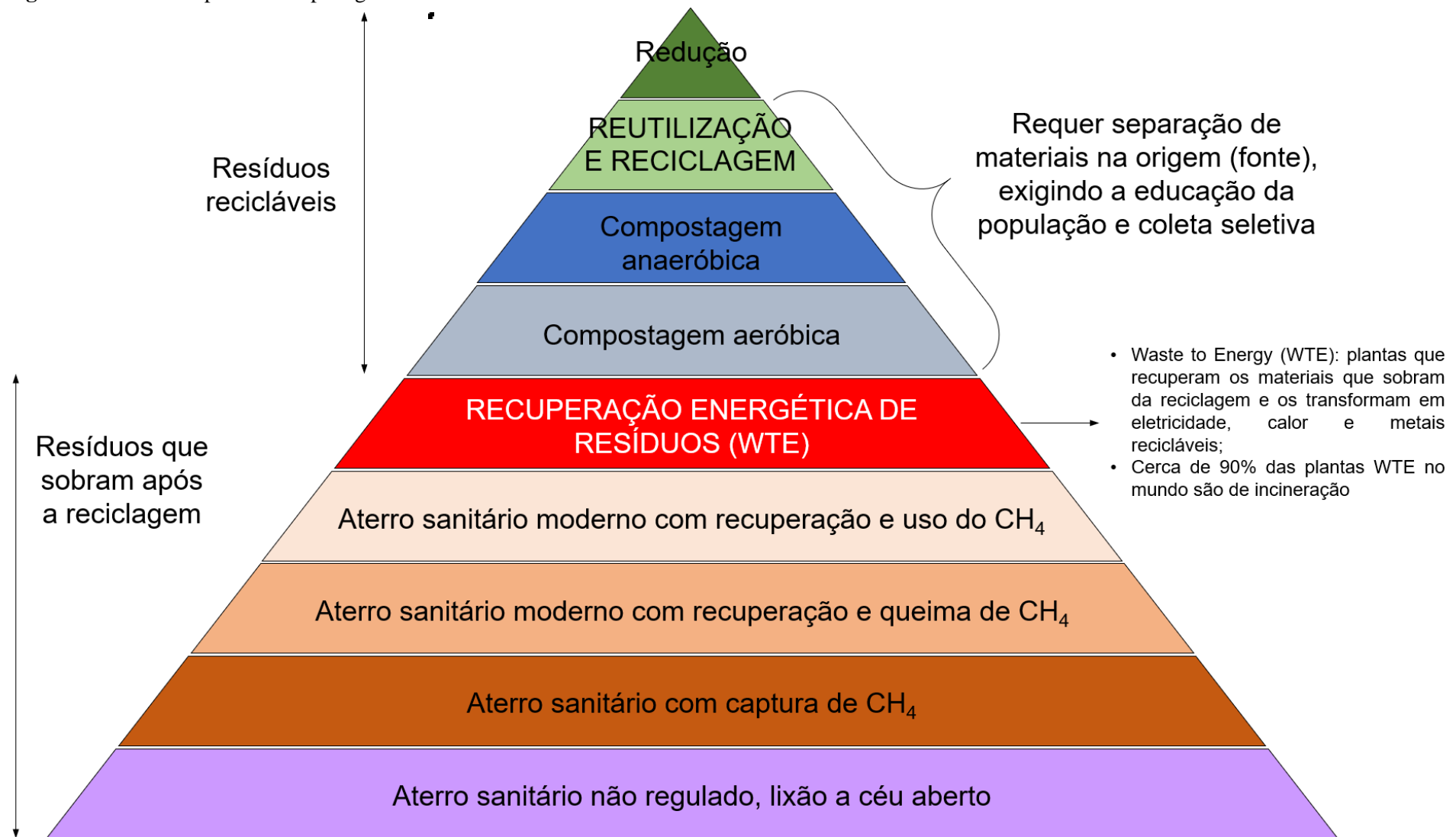
Das diretrizes aplicáveis em lei pode-se observar a ordem de prioridade no gerenciamento dos resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos (anaeróbio, aeróbio, térmico) e disposição final ambientalmente adequada em aterro (**Figura 1**). A Lei 12305/2010 incentiva a utilização de tecnologias para recuperação de energia possível de se extrair dos resíduos sólidos desde que viável tecnicamente e ambientalmente, por exemplo: a utilização da incineração e o aproveitamento energético dos gases de biodegradação (biogás).

De acordo com THEMELIS E BOURTSALAS (2019), a redução da geração de resíduos é preferível e está no topo da hierarquia da gestão de resíduos sólidos e pode ser alcançada utilizando de “engenharia verde” de produtos e embalagens. Entretanto, viria ao custo de mudança da organização social e econômica, fugindo então do alcance das empresas de coleta e manejo de resíduos.

Tem-se então, a exemplo de alguns países, a tentativa de redução de utilização dos aterros sanitários em detrimento de políticas que favoreçam a reciclagem e o tratamento térmico (THEMELIS & BOURTSALAS, 2019). A reciclagem de resíduos se apresenta como uma alternativa que resulta em menor resíduo para destinação final, reduz poluição da água e, principalmente, conserva recursos materiais e energéticos quando usa-se material reciclado ao invés de material bruto para produção (FRANCHETTI, 2018).



**Figura 1** – Ordem de prioridades para gestão de resíduos sólidos.



Fonte: adaptado de THEMELIS & BOURTSALAS (2019).

Para resíduos sólidos que não foram reciclados tem-se a alternativa de plantas “*Waste to Energy*” (WtE) que diminuem consideravelmente o volume de resíduos, geram energia e materiais que podem ser reaproveitados nas cinzas de incineração (THEMELIS & BOURTSALAS, 2019).

A separação direta de resíduos recicláveis e orgânicos permite recuperar energia e material dos resíduos, através do tratamento biológico e reciclagem, enquanto resíduos não reciclados podem ser tratados termicamente. No tratamento anaeróbio obtém-se, além do composto orgânico estabilizado para utilização como produto fertilizante, também o biogás, que possui grande potencial energético e pode ser utilizado para a combustão reaproveitando calor e energia (CHROMEE *et al.*, 2018).

Já a compostagem de acordo com MASSUKADO (2008) é uma decomposição aeróbia e exotérmica da fase orgânica do resíduo sólido que resulta em massa estabilizada que pode ser aproveitada para fertilização de solos. Esse processo diverge da digestão anaeróbia devido não gerar gases que tenham potencial energético a ser reaproveitado.

Quanto à disposição final de resíduos é observada uma clara hierarquia, em primeiro pode-se observar que o aterro sanitário com captação e uso de metano é a forma que possui menos impactos dentre os destinos finais de disposição pois se trata de uma forma de disposição num local construído de acordo com normas de engenharia, equipado com proteção de base e cobertura para evitar contaminação do solo. Além disso, a queima do metano gerado pela decomposição anaeróbia do lixo gera o dióxido de carbono que é menos estufa (OLIVEIRA & CLÁUDIO, 2014).

Na mais baixa hierarquia estão os aterros não controlados (lixões) que são a forma mais inadequada de disposição final, sendo caracterizada simplesmente pela descarga de lixo sobre o solo sem as medidas de contenção brevemente citadas (IPT, 1995).

## **4.2. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

De acordo com a Lei 12305/2010 os resíduos sólidos são definidos como:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções

*técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”*

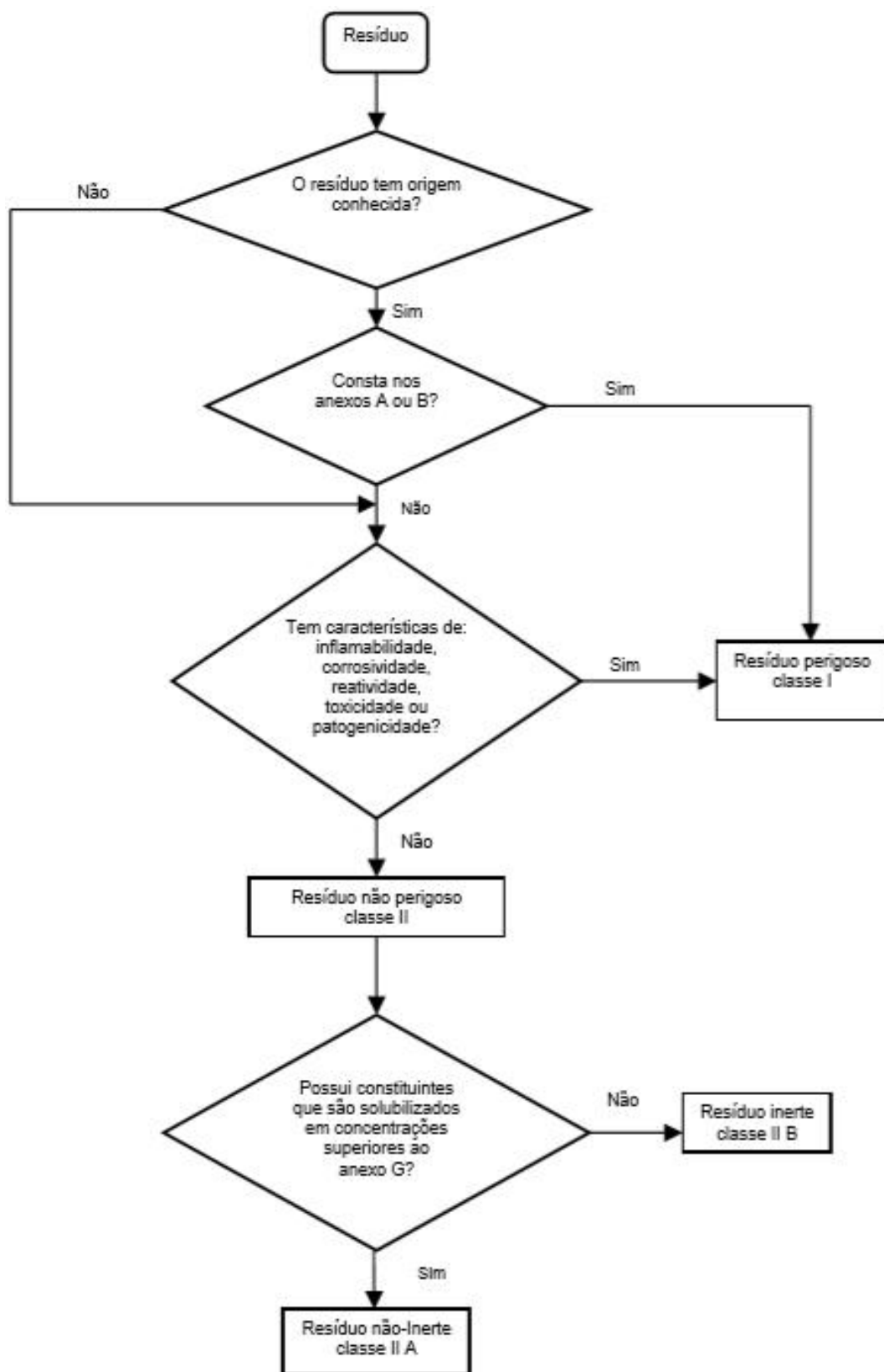
Pode-se então resumir esta definição da seguinte forma: um material proveniente de atividade humana que necessita ter seu destino final observado, apresentando-se de diversas formas, porém todas com a necessidade de uma solução para o seu descarte ambientalmente adequado mais viável.

Quando o descarte do resíduo se demonstrar impossível ou inviável, a definição em lei é julgada de outra forma, como rejeito. Portanto segue da definição em lei que rejeitos são aqueles resíduos que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, apenas resta a disposição final.

Conforme a norma ABNT NBR 10004/2004, define-se também os resíduos quanto a sua periculosidade, devido a características físico-químicas ou infectocontagiosas, sendo observado seu risco a dois meios distintos: risco à saúde pública, onde qualquer dano causado ao indivíduo é observado ou o possível agravamento de danos; risco ao meio ambiente, onde o risco reside no gerenciamento inadequado do resíduo.

A ABNT NBR 10004 (2004) também classifica um resíduo utilizando informações do processo ou atividade que o produziu, sua composição e características, e a comparação desses componentes com resíduos e substâncias sabidamente causadoras de impactos à saúde e ao meio ambiente. O isolamento dos resíduos na fonte de geração e a identificação da fonte fazem parte do relatório de classificação, que deve indicar claramente as matérias-primas, os insumos e o processo de geração dos resíduos. Tem-se, portanto, os resíduos considerados perigosos (classe I) e os não perigosos (classe II), dentre os quais podem ser considerados não perigosos e não inertes (classe IIA) e não perigosos e inertes (classe IIB). Essa classificação é apresentada na **Figura 2**.

**Figura 2** – Classificação de resíduos.



Fonte: ABNT 10004 (2004).

No que concerne à classificação de resíduos perigosos reúne-se aqueles que podem possuir algum risco como citado de maneira geral anteriormente ou de forma específica quanto sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade ou aqueles que já sejam previamente estabelecidos em anexo A ou B da norma .

Sendo os tipos definidos por:

Perigoso: é aquele resíduo que oferece riscos tanto à saúde pública quanto ao meio ambiente, tendo a possibilidade de provocar morte , incidência de doenças ou acentuando os seus índices.

Pode-se ainda destrinchar ainda mais as classificações seguindo a ABNT NBR 10007, como no seguinte:

Perigoso inflável: Pode entrar nessa classificação por um oxidante; ser um gás comprimido inflamável; ser sólido e mesmo à 25°C e 1 atm entrar em ignição por causas brandas como fricção ou espontaneamente inflamável; ser um líquido com ponto de fulgor inferior a 60°C (exceto soluções aquosas contendo álcool em concentração menor que 24%).

Perigoso corrosivo: ser solução aquosa, ou em solução aquosa 1:1 apresentar pH inferior a 2 ou superior a 12,5. Nas mesmas condições, é considerado corrosivo se corroer aço (COPANT 1020) a uma razão maior que 6,35 mm /ano a 55°C de acordo com a USEPA SW ou equivalente.

Perigoso reativo: Se a amostra demonstrar que é instável e reagir de forma violenta e imediata sem detonar; reagir violentamente com a água; formar misturas potencialmente explosivas com a água; ao misturar com a água gerar gases, vapores ou fumos tóxicos o suficiente para causar danos a saúde pública ou ao meio ambiente; possuir em sua constituição os íons cianeto ( $CN^-$ ) e sulfeto ( $S^{2-}$ ) ou em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de ácido cianídrico (HCN) liberável por quilograma de resíduo ou 500 mg de ácido sulfuroso ( $H_2S$ ) liberável por quilograma de resíduo, de acordo com ensaio estabelecido no *United States Environmental Protection Agency* (USEPA)- SW 846; ser capaz de explodir sob forte estímulo, reação catalítica ou por temperatura em ambiente confinado; ser capaz de se decompor gerando explosão a 25°C e 1 atm ou reagir fortemente nas mesmas condições; ser substância produzida com intuito de ser explosivo ou material pirotécnico.

Perigoso tóxico: Ser considerado material reconhecidamente tóxico em concentrações acima das permitidas seguindo os anexos contidos em ABNT NBR 10005, onde são comparadas as substâncias contidas em seus anexos quanto a sua toxicidade apresentada, concentração, potencial de migração de componente tóxico do resíduo para o ambiente, potencial de bioacumulação nos ecossistemas, ser letal ao homem e assim por diante.

Perigoso Patogênico: é aquele que contém ou se suspeitar de conter, microrganismos patogênicos, contendo proteínas virais, DNA, RNA recombinante, microrganismo geneticamente modificado de qualquer espécie, plasmídeos, cloroplastos, mitocôndrias, toxinas capazes de danos a pessoas, animais ou vegetais.

Resíduos não perigosos não inertes: são aqueles que não se encontram enquadrados em nenhuma das classificações de periculosidade e apresentam propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos não perigosos e inertes: aqueles que, seguindo norma ABNT NBR 10006, submetido a contato com água destilada ou deionizada a temperatura ambiente, não apresentar solubilidade superior ao padrão de potabilidade da água independente do aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor resultantes da interação.

Onde cada uma das classes é classificada obedecendo a origem do resíduo ou, caso não houver conhecimento do gerador, sua amostragem e análise seguindo a norma previamente estabelecida.

#### **4.3. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE RSU**

Nesse estudo será levantado o estado da arte de alguns tratamentos usuais para RSU, dentre eles os aterros sanitários, tratamento térmico, tratamento biológico aeróbio (compostagem), tratamento biológico anaeróbico e a tecnologia foco da usina da TMethar, a biometanização.

##### **4.3.1. Aterros sanitários, aterros controlados e lixões**

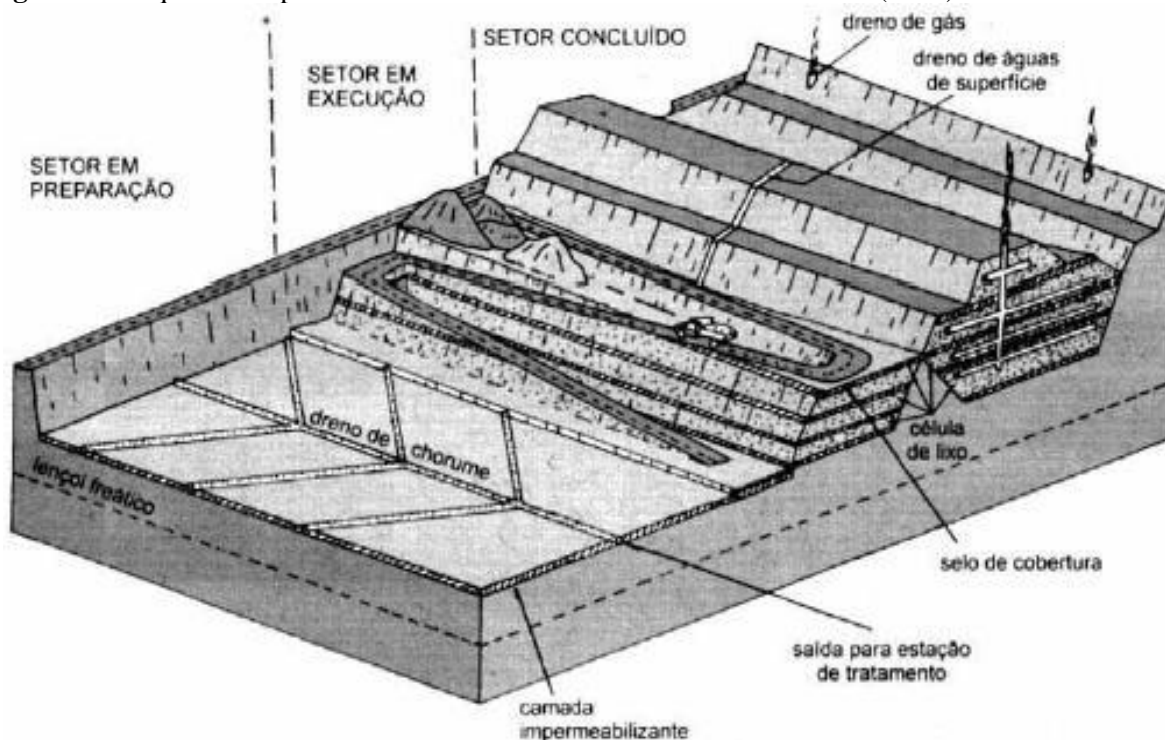
No Brasil hoje o principal destino dos RSU é através da disposição final em aterros e lixões. Apesar de aterros sanitários representarem a terceira maior fonte antropogênica de geração de metano na Terra (PNRS, 2020). Entende-se por disposição final o armazenamento de RSU, de forma a minimizar os impactos dessa alocação de resíduos. Temos então três formas de disposição final:

Primeiramente os aterros sanitários, de acordo com ALBUQUERQUE (2011) um aterro sanitário é o dispositivo de aterramento de resíduos sólidos urbanos adequado para recepção de resíduos de origem doméstica, comércio e varrição de vias públicas. Ainda segundo a NBR 8.419/1992 da ABNT os aterros sanitários são definidos como:

“Aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário.”

De acordo com ALBUQUERQUE (2011) pode-se caracterizar o aterro sanitário como um dispositivo celular que é preparado anteriormente ao recebimento de resíduos com nivelamento de terreno; selamento das bases com argila e mantas de PVC, impermeabilizando o solo e visando proteger o lençol freático. Durante sua execução conta com cobertura diária com lixo e terra (sendo possível de cobrir com outro material inerte além da terra), intercaladamente, formando assim um saibro. No dispositivo deve-se encontrar também recirculação de chorume para acima da pilha de lixo ou escoamento para tratamento em estação específica, reduzindo assim os impactos no solo. A **Figura 3** apresenta um esquema simplificado de um aterro sanitário e suas principais partes.

**Figura 3** – Esquema simplificado de aterro sanitário. Fonte: IPT/CEMPRE (2000).



Fonte: IPT/CEMPRE (2000).

De acordo com o IPT/CEMPRE (2000) a sequência de atividades indispensáveis a serem desenvolvidas em um aterro são as soluções para possíveis problemas sanitários; ambientais e operacionais.

Os problemas sanitários são evidentes pois são observadas com frequência a presença de microvetores de doenças (mosquitos, moscas, baratas etc), macrovetores (urubus, pombos, ratos etc) no entorno; presença de fumaça; mal cheiro e fogo. Portanto, as atitudes a serem tomadas são:

- Movimentação e conformação da massa de lixo visando regulação mecânica do projeto;
- Eliminação de focos de fogo e fumaça mediante a cobertura frequente dos resíduos com saibro; redução da área total de depósito de resíduos, isto é, redução do espalhamento do lixo visando evitar uma maior área exposta a águas pluviais e, portanto, menor geração de lixiviados.
- Limpeza da área de operação e todo o entorno do depósito sendo apenas executada a deposição de resíduos em área determinada.

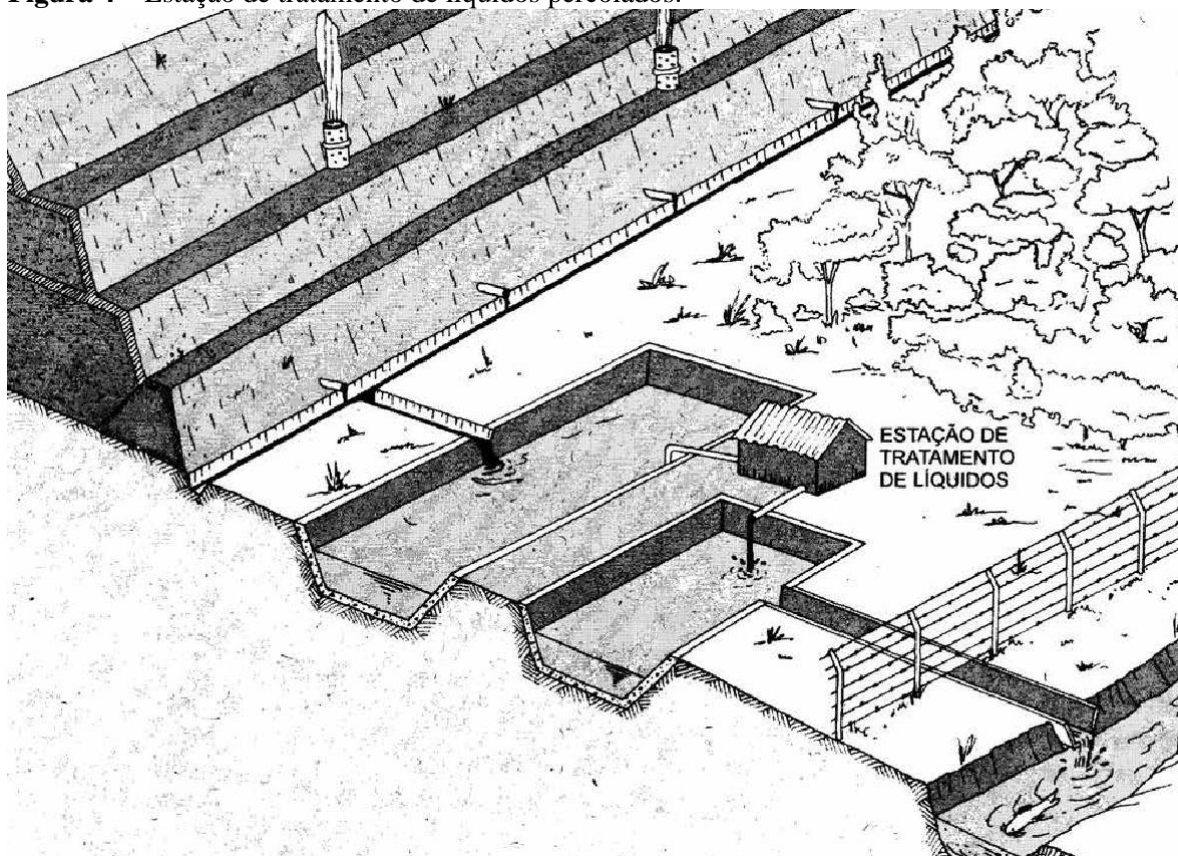
Os problemas ambientais são aqueles que afetam o entorno, usualmente se apresentam como poluição do ar, poluição das águas superficiais e subterrâneas, poluição do solo. Os recursos a serem desenvolvidos são:

- Drenagem de águas pluviais e das águas do entorno através de isolamento impermeabilizante utilizando de canaletas, diques etc, de forma a manter a água de fora do aterro sem contato interno;
- Drenagem e tratamento do lixiviado: valas para captação são abertas com o objetivo de permitirem a retirada dos lixiviados da massa de resíduos aterrados. A drenagem de líquidos deve ser direcionada a tanques específicos onde serão direcionados posteriormente para tratamentos (**Figura 4**). De forma geral o tratamento se demonstra análogo aquele utilizado em tratamento de esgoto e visa a adequação do efluente às normas de descarte e, corpo receptor.

Logo são utilizados tratamento biológicos, como lodos ativados e suas variações, lagoas aeradas, lagoas de estabilização e entre outros (com o desígnio de reduzir as altas concentrações de orgânicos no meio); tratamento físico-químicos para eliminar ou atenuar suas cargas orgânica e inorgânica nas suas formas particulada ou dissolvida. No tratamento físico-químico podem ser aplicadas as seguintes operações: diluição; filtração; coagulação; floculação; precipitação; sedimentação; adsorção/absorção; troca iônica; oxidação química; osmose reversa; lavagem com ar; ultrafiltração; oxidação; evaporação natural e vaporização (IPT/CEMPRE, 2000).



**Figura 4** – Estação de tratamento de líquidos percolados.



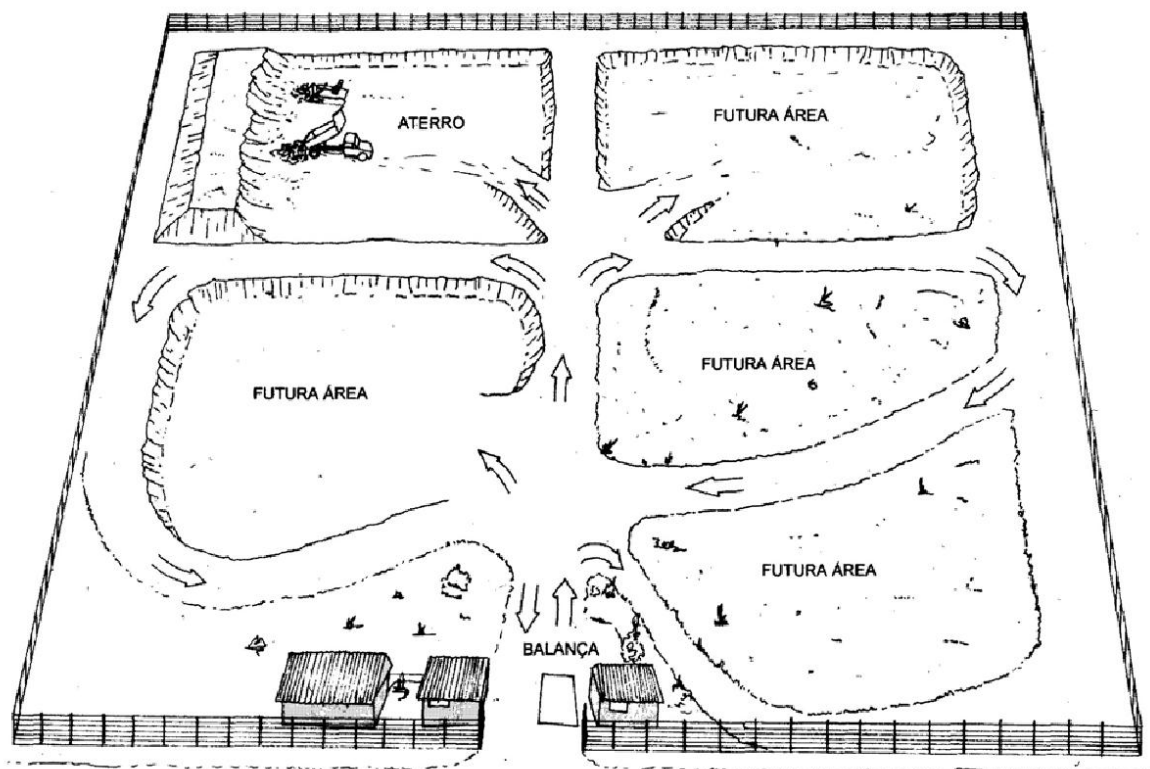
Fonte IPT/CEMPRE (2000).

- Drenagem e tratamento do biogás gerado: com intuito de reduzir impacto do metano gerado pelo aterro o biogás pode ser coletado e reaproveitado quando possível, ou seja, quando sua concentração em biogás estiver entre 40% e 60%. Quando impossibilitado o reaproveitamento energético do biogás recomenda-se sua incineração.

- Arborização da área (cinturão verde): visando melhorar a dispersão de gases e odores podem ser plantadas árvores e arbustos de médio porte. São indicadas também para balancear a estética do aterro;

Os problemas operacionais apresentados pela disposição dos resíduos urbanos devem também serem considerados. Devem ser definidas áreas de operação de maneira a melhorar o trânsito de operadores e máquinas, conforme apresentado na Figura 5, a área de trabalho deve receber camada de solo não superior a 0,20m, para não prejudicar a vida útil do aterro.

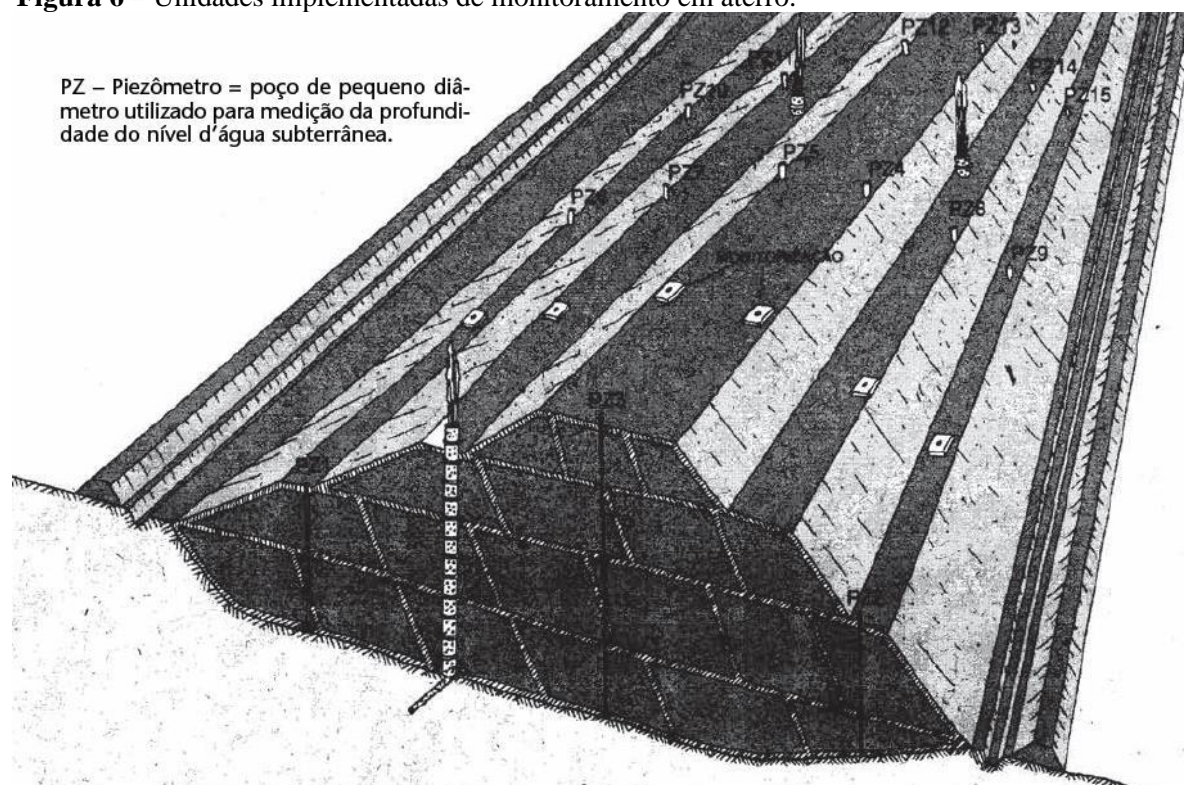
**Figura 5** – Recomendação de fluxo de operação de aterro sanitário. Estação de tratamento de líquidos percolados.



Fonte IPT/CEMPRE (2000).

O aterro deve também possuir mecanismos de monitoramento com o propósito de melhor entender e operar os módulos. monitorização geotécnica e ambiental, incluindo piezometria, poços de amostragem, inclinômetros, marcos superficiais e controle de vazão de lixiviados, conforme a **Figura 6**.

**Figura 6** – Unidades implementadas de monitoramento em aterro.



Fonte IPT/CEMPRE (2000).

Os aterros controlados são formas de disposição final ambientalmente inadequadas porque, diferente do aterro sanitário, são apenas jogados sob o solo sem nenhum tipo de tratamento ou engenharia sobre o projeto, apenas delimitando área específica para despejo e finalizando com cobertura de material inerte para conclusão do depósito. (ALBUQUERQUE; JB, 2018/2019)

Já os lixões, segundo ALBUQUERQUE (2018/2019) se referem a forma de disposição final de resíduos que mais impacta negativamente o ar, solo e água. São locais de despejo a céu aberto no solo, sem nenhuma proteção ambiental, contaminando o solo e a água pelos lixiviados gerados pela decomposição do lixo. Além dos lixiviados é gerado o biogás que é liberado diretamente para atmosfera, ou seja, o metano de alto potencial de aquecimento global é dispensado livremente. Além disso, são atraídos vetores de todos os tipos e não existe controle do pessoal em contato com a área.

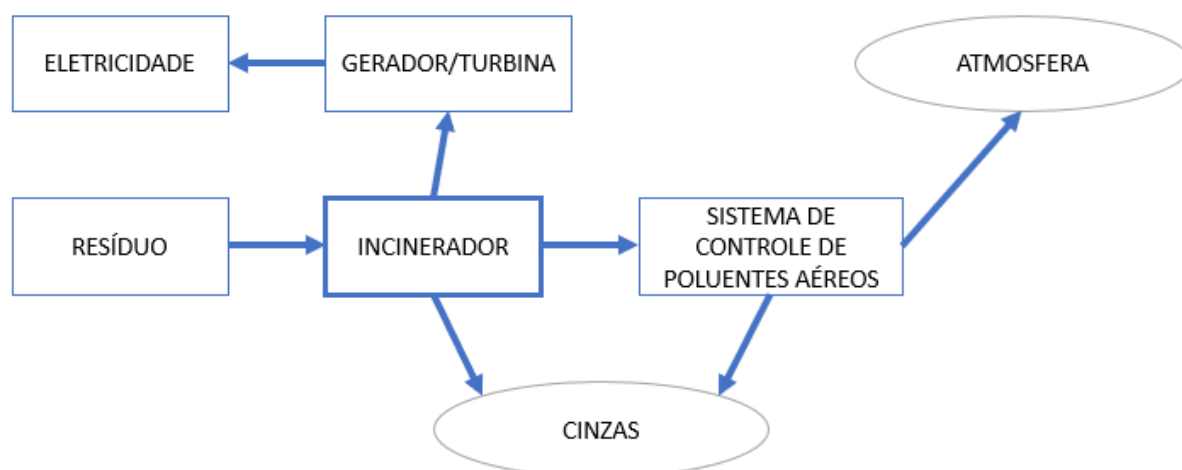
#### **4.3.2. Tratamento térmico**

Segundo FRAKENFELD (2015) os métodos de tratamento térmico, contidos nos processos conhecidos como “Waste to Energy” (WtE), são métodos muito bem estabelecidos,

promovendo processamento de mais de 100 milhões de toneladas de RSU ao redor do mundo, sendo capazes de serem encontradas plantas compactas com geração de um ou cento e vinte quatro megawatts (MW) nos EUA, sendo, portanto, um método que pode variar bastante sua capacidade de produção energética e aplicação dependendo da demanda.

O tratamento térmico por incineração (**Figura 7**) é o que apresenta tecnologia mais difundida, sendo realizada em fornos em alta temperatura (maior que 1000°C), que na presença de oxigênio em excesso, promove a combustão (queima) do RSU. Esse processo gera cinzas contendo inorgânicos e metais que podem ser aproveitados. Além disso a incineração gera energia térmica que pode ser aproveitada na geração de energia elétrica. Atualmente os processos de incineração utilizam de sistemas robustos de tratamento de gases (controle de óxidos de nitrogênio, enxofre, particulados e metais), sendo capazes de reduzir a poluição atmosférica nos níveis aceitos pela legislação (FRAKENFELD, 2015).

**Figura 7** – Diagrama representando o sistema de incineração.



Fonte: Adaptado de Beynne et al (2018).

No Brasil houve inúmeros incineradores ao longo da história como por exemplo o incinerador de Pinheiros, São Paulo, vigente no ano de 1949 com capacidade de 200 t/dia; incineradores de ponte pequena e Vergueiro com ambos aproximadamente 300 t/dia, porém desativados desde do ano de 2000 devido a não serem capazes de atingirem os padrões ambientalmente estabelecidos (HENRIQUES, 2004).

Hoje no país é possível observar que existem apenas 17 unidades de incineração, o que corresponde a forma atual de aproximadamente 0,4% das unidades de tratamento de RSU, contando com um tratamento total de aproximadamente nove mil toneladas no ano de 2019, correspondendo a aproximadamente 0,01% do tratamento nesse mesmo ano (SNIS,2019).

Hoje os tratamentos WtE mais promissores incluem métodos de conversão termal, dentre eles incineração, pirólise e gaseificação; transformação bioquímica e aproveitamento térmico em aterros (BEYENE, *et al.*, 2018).

Num sistema de incineração o RSU dentro dos fornos submetidos a temperaturas entre 750°C e 1100°C, na presença de oxigênio em excesso, degrada as moléculas orgânicas no resíduo, gerando energia, cinzas e uma mistura de gases (poluentes atmosféricos e gases estufa). Os resíduos sólidos podem ter seu volume reduzido a até 80-85% dependendo da composição original do RSU. A eficiência de geração de calor e geração de eletricidade está na faixa de 80% e 20% respectivamente. Importante notar que são gerados principalmente os gases poluentes de óxidos de carbono (COx); óxidos de enxofre (SOx); ácido clorídrico (HCl); óxidos de nitrogênio (NOx); etc. Como produto sólido, também chamado de cinzas, é possível observar principalmente metais; hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) e material particulado. Em menor proporção deve-se observar compostos organo-halogenados (como dioxinas, furanos entre outros). Os gases usualmente são tratados com o estado da arte em “flue gas treatment” ou tratamento de gases de combustão (BEYENE *et al.*, 2018; IADORALA, 2018).

O tratamento de poluentes providos do sistema de incineração para IADORALA *et al.* (2018), pode ser dividido em duas categorias: tratamento de material particulado, utilizando de processos físicos de separação para o tratamento do material particulado e tratamento de gases poluentes, impondo o contato desses gases com materiais capazes de reduzir sua concentração na saída.

Primeiramente os tratamentos físicos mais comuns incluem: ciclones, que separam as partículas mais grossas das mais finas; separadores eletrostáticos, capazes de remover partículas extremamente finas do sistema; e filtros de tecidos que removem partículas pelos mais diversos fenômenos físicos.

Por outro lado, o controle de poluentes gasosos tem como mecanismo o contato da corrente gasosa com um componente, seja ele líquido, sólido, ou gasoso, com o objetivo de extrair seletivamente um ou mais componentes poluidores. A técnica mais observada de tratamento de poluentes gasosos é a absorção, utilizada principalmente para gases ácidos como o ácido clorídrico e ácido fluorídrico (quando presente).

Na absorção o gás é absorvido pela passagem em um líquido ou suspensão onde fica retido e posteriormente esse líquido pode ser tratado para reciclagem em processo ou descartado na forma de lama. Substâncias como o hidróxido de cálcio ou bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) são utilizadas nesse processo. A segunda forma de tratamento seria a adsorção, onde o gás fica retido em um material sólido com grande área superficial, normalmente carvão ativado. A

remoção de  $\text{NO}_x$  envolve a remoção catalítica ou remoção não catalítica utilizando reação com ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) em catalisadores metálicos porosos (IADAROLA, 2018).

O segundo tratamento térmico a ser citado é a gaseificação que é um processo em que a maioria do carbono presente no resíduo é convertido em produto gasoso, através da exposição ao oxigênio e a alta temperatura, 900-1100°C. Os principais produtos gasosos obtidos desse método são o monóxido de carbono (CO) e hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), compondo um gás de síntese e obtendo como produto sólido cinzas inorgânicas do processo e um *char*, ou seja, fração carbônica fixada que não se extrai facilmente pela temperatura e injeção de oxigênio. O processo de gaseificação utilizando o ar que, apesar desse processo resultar em um gás de síntese contendo até 60% de oxigênio e possuir um valor de aquecimento de 4-6 MJ/Nm<sup>3</sup> (comparado com os 10-18 MJ/Nm<sup>3</sup>), simplifica o processo e reduz gastos com o oxigênio puro.

Uma técnica que pode ser citada na gaseificação é a técnica de gaseificação com derretimento da fração sólida de fundo, também conhecida como “*Slagging gasification*”, nela é alcançada temperaturas de aproximadamente 1600 °C onde a fração sólida é derretida resultando em um material estável e passível de ser reciclado. (WSP ENVIRONMENTAL REPORT, 2013).

Devido a característica do processo de produzir gás de síntese ele pode ser utilizado para produção de energia, mas também como fonte de produtos químicos, combustíveis líquidos e hidrogênio. Este potencial de utilização do gás de síntese depende da complexidade da planta para que o gás proveniente possa ser tratado e atuar em processos além daqueles de simples queima, uma vez que ao utilizar o gás de síntese em queima este processo não se distanciaria do processo de incineração em termos práticos (CONSONNIS & FEDERICO VIGANÒ, 2012).

O terceiro WtE térmico a ser citado é a pirólise, um tratamento térmico aplicado na ausência, ou baixa presença de oxigênio causando a decomposição do material orgânico. O processo de pirólise opera em temperaturas acima de 430 °C (VALLERO, 2008). Como produtos do processo de pirólise temos gases como o monóxido de carbono (CO); hidrogênio ( $\text{H}_2$ ); metano ( $\text{CH}_4$ ); outros hidrocarbonetos mais pesados; um resíduo sólido poroso de carbono fixado; gases condensáveis que geram o bio-óleo, uma fração líquida com poder energético e com alto teor de carbono orgânico (VALLERO, 2008). Os maiores contaminantes do processo de pirólise são os compostos orgânicos semivoláteis, como bifenilas policloradas (PCBs), dioxinas, HAPs (VALLERO, 2008).

### 4.3.3. Tratamento biológico

Quanto ao tratamento biológico pode-se citar a compostagem e o tratamento anaeróbio. A compostagem e o tratamento anaeróbio podem ser considerados tratamentos ambientalmente adequados de acordo com a lei 12305/2010. Incluso no tratamento anaeróbio se encontra a biometanização.

#### 4.3.3.1. Compostagem aeróbia

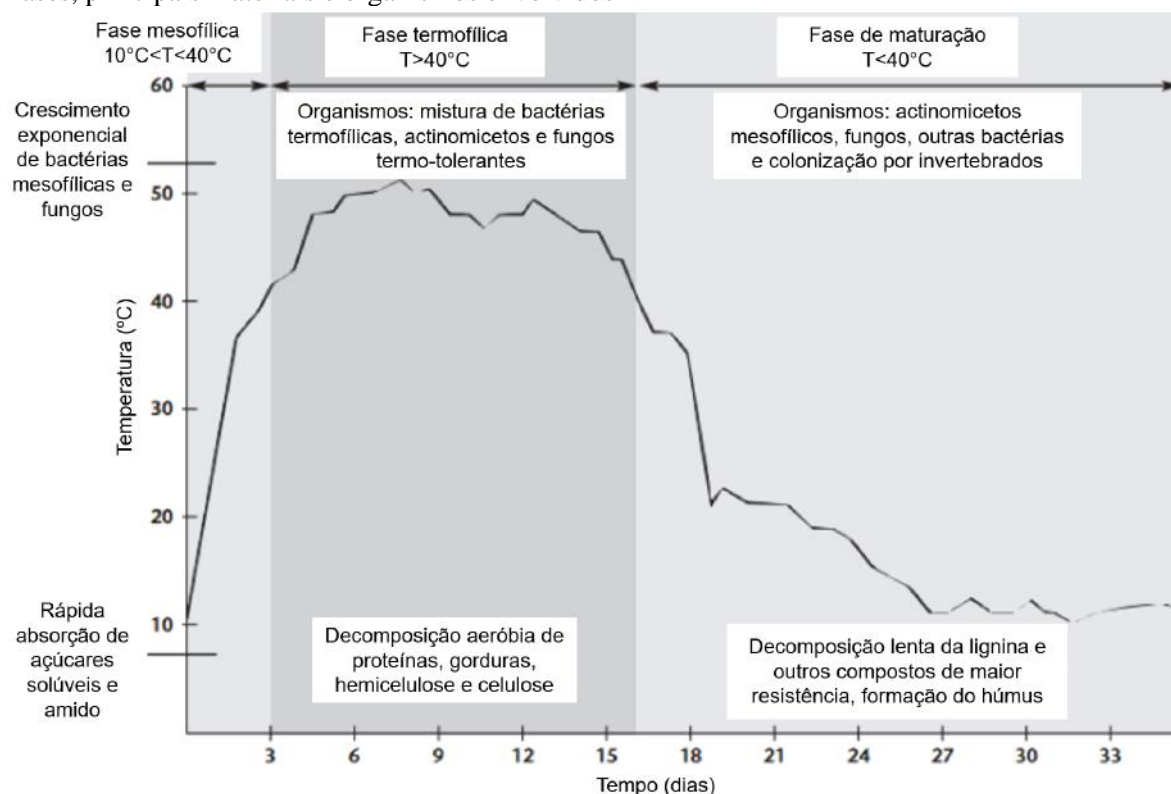
O tratamento aeróbio, de acordo com KIEHL (1998), também conhecido como compostagem é um processo controlado de decomposição provinda de atividade microbiana, de oxidação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido ou úmido que, pode se apresentar em três fases distinguíveis: a primeira mesofílica, marcada por células microbianas com uma intensa atividade metabólica mesmo em atividade de latência, que segundo CORRÊA (2003), é observada devido a uma elevada síntese de DNA e enzimas, sendo alcançadas temperaturas de até 40 °C (MEHTA et al., 2013); posteriormente uma fase de bioestabilização, chamada de termofílica, com temperaturas que podem ultrapassar 65 °C, sendo essa fase responsável por eliminação de patógenos e sementes de daninhas (MEHTA et al., 2013); por final a maturação ou humificação da matéria orgânica, com temperaturas abaixo de 40°C sendo observada nessa fase a mineralização de alguns compostos da matéria orgânica, disponibilizando assim nutrientes inorgânicos, compostos por nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, para plantas (KIEHL, 1985).

Como resultado do processo metabólico é gerado um composto orgânico estabilizado que pode ser utilizado como adubo comercial, todavia LOPEZ-REAL (1990) indica que a qualidade desse adubo está estritamente relacionada com a matéria-prima utilizada na compostagem. Conforme a matéria-prima o composto orgânico pode estar contaminado por metais pesados, o que tornaria impróprio o uso do composto como adubo de vegetais comestíveis ou seus frutos.

A **Figura 8** apresenta o desenvolvimento da temperatura numa pilha de compostagem em função do tempo, as suas fases e os principais materiais e organismos envolvidos no processo.



**Figura 8** – Desenvolvimento da temperatura na pilha de compostagem em função do tempo, as fases, principais materiais e organismos envolvidos



Fonte: Adaptado de HUBBE *et al.* (2010).

A compostagem pode ser classificada de acordo com duas formas: compostagem passiva ou por aeração forçada. O processo de compostagem passiva se baseia em deixar o ar estar no meio sem interferência, a leira pode ter uma geometria que pode auxiliar na aeração do meio. A segunda técnica é a com aeração forçada, nessa técnica é empregada aeração por processos como injeção de ar na massa de RSU para promover a digestão aeróbica. O processo mais comum de compostagem do lixo urbano é a partir da técnica de leira por revolvimento periódico das pilhas de composto, sendo possível disponibilizar oxigênio para as atividades metabólicas dos microrganismos atuantes na decomposição das pilhas. Em usinas maiores de decomposição observa-se a utilização de leiras estáticas contando com ventilação em baixa pressão. (BRITO, 2004).

Dentre os principais fatores que podem afetar a compostagem são: relação carbono e nitrogênio, aeração e umidade:

(i) A relação carbono/nitrogênio (C/N) é de extrema importância para o processo de compostagem, sendo ela uma grande influência na respiração e na atividade microbiológica (GUO *et al.*, 2012). Algumas fontes de matérias-primas não são ideais por não possuírem a



razão C/N adequada para o metabolismo. Por esse motivo materiais ricos apenas em carbono, como é o caso da madeira para o exemplo, devem ser acrescidos de outros resíduos para balancear essa relação C/N. Um exemplo seria a utilização de restos de comida e esterco para otimizar o processo. Decorrida as etapas metabólicas é comum que a razão C/N diminua indicando uma maior maturidade do composto (HACHICHA *et al.* 2012 RAZALI *et al.*, 2012).

A aeração é essencial para garantir a presença de oxigênio necessário para a compostagem aeróbia, por esse motivo o formato da leira que auxilia o processo de aeração é determinante para evitar regiões anaeróbias durante o processo (LUZ CAYUELA *et al.*, 2012). Uma das formas de garantir a aeração passiva de uma leira é através da utilização de folhas e plantas que geram canais por onde o ar circula com mais facilidade (HUBBE *et al.*, 2010).

A umidade por sua vez possui influência na atividade microbiana. Em um ambiente muito úmido pode -se obter uma região anaeróbia na leira gerando materiais como metano e amônia. Por outro lado, em um ambiente com baixa umidade, a atividade metabólica diminui. O teor recomendado de umidade está em torno de 50-75% para um processo aeróbio ideal (GUO *et al.*, 2012).

Pode-se observar que os materiais que possuem grande influência na compostagem são aqueles lignocelulósicos, isto é, aqueles que possuem composição majoritariamente de lignina, celulose e hemicelulose. Isto porque o processo de compostagem pode ser visto, simplifcadamente como uma forma de oxidação da matéria orgânica até dióxido de carbono (DICKSON *et al.* 1991), onde os maiores contribuidores dessa oxidação, por CO<sub>2</sub> gerado e por geração de calor são a celulose e hemicelulose (HUBBE *et al.*, 2010).

A lignina por sua vez é um material de degradação mais lenta, e com o tempo a pilha começa a enriquecer em lignina (LIMA *et al.*, 2009). Todavia quando a celulose e hemicelulose foram esgotadas do meio, a lignina passa ser a base energética para a transformação do meio, nessa transformação é que se observa a atuação de algumas enzimas fenoloxidasas, como a lacase, capaz de degradar a lignina e dar origem ao húmus, produto esse visado para adubo pela sua capacidade de reter umidade e afetar a textura do solo positivamente para raízes e biota (HUBBE *et al.*, 2010).

#### **4.3.3.2. Digestão anaeróbica**

Na digestão anaeróbia (DA), um processo que ocorre na ausência de oxigênio, ocorre a decomposição biológica da fração orgânica do material gerando como possíveis produtos o

metano à 65%; dióxido de carbono à 35% e uma pequena fração de biomassa residual de microrganismos biodigestores (MATA-ALVAREZ, 2015).

É um tratamento que possui distribuição populacional de microrganismos extremamente dependente do substrato alimentado; concentração de produto; condições ambientais, tais como pH, Temperatura, concentração de hidrogênio, etc (MERKEL *et al.*, 1999). A digestão anaeróbia necessita de uma grande variedade de população microbiana para acontecer, incluindo grupos restritos e não restritos para serem capazes de reduzir as cadeias longas orgânicas de grupos de proteínas, carboidratos e lipídios para moléculas mais simples, como o metano e o gás carbônico (SIEGRIST *et al.*, 1993).

A biometanização pode ser resumida como ocorrendo em duas etapas, na primeira a matéria orgânica é convertida para intermediários como os ácidos graxos voláteis, dióxido de carbono e hidrogênio. Na segunda fase os intermediários são convertidos em metano pelos microrganismos metanogênicos (MATA-ALVAREZ, 2015).

Na DA de RSU, o material entra na digestão com alta proporção de sólidos suspensos e uma mistura complexa de material solúvel. Uma forma simples de se traduzir o processo é a transformação dos carboidratos, lipídios e proteínas em ácidos graxos voláteis (AGV) (COHEN, 1982; MIRON *et al.*, 2000).

Para a degradação dos lipídios observa-se as etapas de: hidrólise em ácidos graxos longos, que então é oxidado em acetato e propionato, porém apenas com baixa pressão parcial de hidrogênio, isto só é alcançado com as HMB (*Hydrogenfil methanogenic bacteria*) em meio. Foi constatado que os lipídios raramente sofrem hidrólise sem a presença de bactérias metanogênicas. (PALENZUELA-ROLLON, 1999; MIRON *et al.*, 2000; SANDERS *et al.*, 2001). Já as proteínas são hidrolisadas à aminoácidos que posteriormente são degradadas em AGV.

Em um processo controlado a pior das hipóteses é dada pelo desbalanceamento microbiano. Quando os microrganismos acidogênicos ultrapassam o crescimento das bactérias metanogênicas, reduzem a atividade dessas últimas devido a redução do pH no meio em que se encontram.

Dentre os nutrientes necessários para a digestão estão os nutrientes (carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre) e micronutrientes (traços de minerais contendo níquel, ferro, cálcio, manganês, sódio, bário, etc). A presença de micronutrientes pode estimular o crescimento, porém em demasia pode causar o efeito reverso, isto é, inibir o crescimento microbiano. Os resíduos municipais usualmente possuem o requerido, em se tratando de nutrientes, necessário para o crescimento e manutenção do processo anaeróbio. (MATA-ALVAREZ, 2015).

Quanto às toxicidades de componentes em meio, não há resposta simples sobre as substâncias e suas concentrações limites ou faixas ideais. As substâncias poderão possuir comportamento inibidor ou estimulante dependendo não somente de sua característica intrínseca, mas do mesmo modo depender de fatores ambientais como pH, temperatura e concentração de outros componentes. Os fatores que mais podem influenciar um processo anaeróbio são pH, amônia livre, ácido sulfídrico e AGV. Algumas vezes é observada a influência da salinidade e xenobióticos (substâncias que não ocorrem naturalmente em determinada microbiota), especificamente para resíduos sólidos urbanos (MATA-ALVAREZ, 2015).

Dos AGV, o ácido propiônico e o butírico são descritos como mais inibitórios, mesmo fazendo parte do processo metabólico como intermediários. De forma similar a amônia, que é um nutriente necessário pode, por conseguinte, possuir ação inibitória dependendo do pH e sua concentração em meio. Para gestão de resíduos em digestão anaeróbia recomenda-se regular a razão C/N através da diluição do meio com água de reaproveitamento (esgoto) ou com a regulação a partir de um insumo com menor concentração de nitrogênio.

Quanto ao ácido sulfídrico seu excesso pode estar relacionado a aclimatação bacteriana e, caso haja a necessidade de ser reduzida sua concentração, pode-se retirar o ânion do meio por precipitação de sulfeto de ferro. A atenção a esses parâmetros é muito importante para se obter sucesso na digestão, porém é necessário ressaltar que a boa regulação de inibidores usualmente se faz desnecessária quando há uma separação prévia dos resíduos (MATA-ALVAREZ, 2015).

Quanto a xenobióticos, tal como solventes provindos de esgoto industrial, são normalmente muito tóxicos para bactérias metanogênicas. O processo de digestão anaeróbia possui ampla faixa de toxicidade para diversos xenobióticos, porém uma separação prévia do material minimizaria o impacto dessas substâncias tóxicas (MATA-ALVAREZ, 2015).

A **Tabela 1** apresenta parâmetros de concentração de inibição para diversas substâncias que podem estar no digestor sugeridos por Mata-Alvarez (2015).

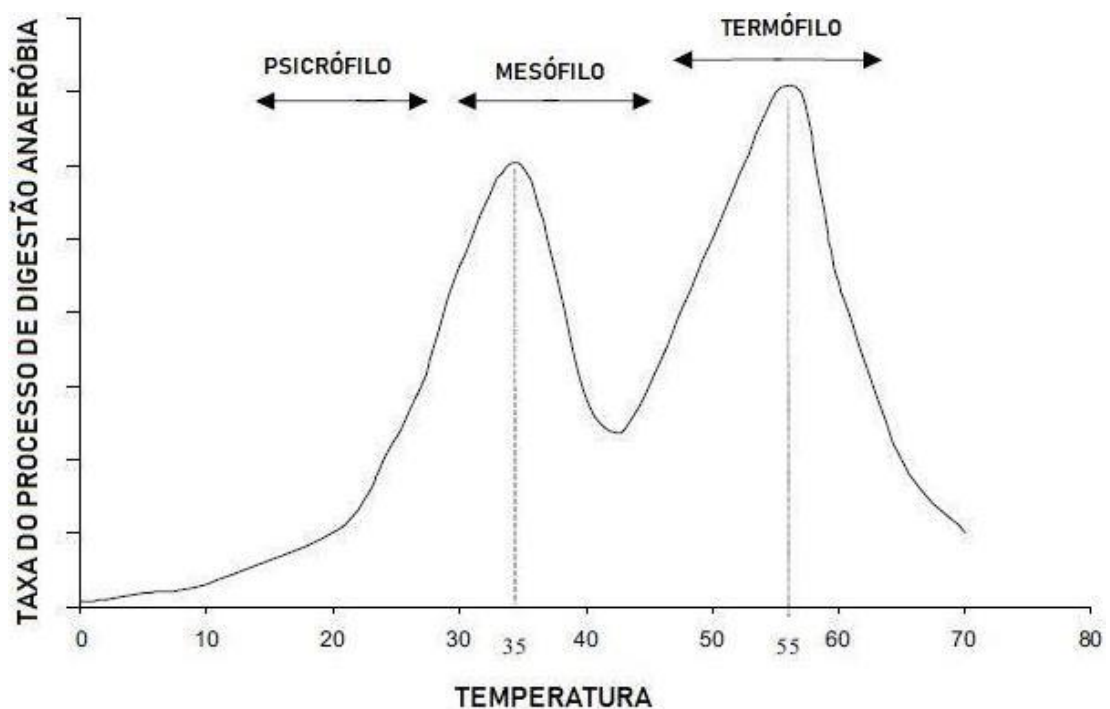
**Tabela 1** – Valores gerais de inibição em digestão de RSU.

| Substância em digestor   | Concentração de inibição |
|--|--------------------------|
| AGV - ácido propiônico   | > 3000 mg/L              |
| Amônia   | > 1200 mg/L              |
| Ácido sulfídrico   | > (200 mg/L - 1500 mg/L) |
| Metais pesados   | > 1 mg/L                 |
| Metais alcalino-terrosos   | > 5 mg/L - 8mg/L         |
| *valores genéricos para digestão anaeróbia de resíduos, seus limites para inibição variam de acordo com fatores ambientais |                          |

Fonte: Mata-Alvarez, (2015).

A DA pode ser obtida em ampla faixa de temperatura, de temperaturas de aproximadamente 10 °C, até faixas termofílicas com temperaturas que podem chegar a 70 °C (MATA-ALVAREZ, 2015). A temperatura possui grande influência no processo anaeróbio, sendo a metanogênese a parte do processo mais afetada por esse parâmetro. A zona de temperatura ideal para operação da digestão anaeróbia se encontra nas faixas de 35 °C e 55 °C aproximadamente, como demonstrado na **Figura 9**.

**Figura 9** - Efeito da temperatura ótima no processo de digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Mata Alvarez (2015).

O processo de digestão anaeróbia pode ser resumido em duas etapas:

- A primeira refere-se à conversão de matéria orgânica em intermediários como AGV, H<sub>2</sub>, dióxido de carbono;

- A segunda fase refere-se à transformação dos intermediários em metano.

Esse sistema é muito sensível quanto a sobrecarga orgânica do digestor pois as bactérias metanogênicas se apresentam mais sensíveis a parâmetros que podem gerar essa sobrecarga devido a: aumento de temperatura, substâncias tóxicas introduzidas no digestor, aumento do fluxo de substrato e entre outras (MATA-ALVAREZ, 2015).

Para um melhor controle do processo é necessário se saber o estado do digestor, estado descrito por variáveis como concentração, pressão, pH, AGV, etc. Alguns parâmetros foram sumarizados por MATA-ALVAREZ (2015) e são apresentados na **Tabela 2**.

**Tabela 2** – Relação de efeitos e distúrbios no processo de digestão anaeróbia.

| Distúrbio   | Problema apresentado  | Efeito final caso não haja falha total  |
|---|---|---|
| Aumento da taxa de fluxo                            | lavagem de microrganismos do sistema afetando principalmente BMs pelo seu tempo de crescimento curto. | Redução no de metano gerado; pH; etc.<br><br>Aumento dos AGVs; aumento na produção de ácidos distintos do ácido acético |
| Aumento da concentração de alimentação (sobrecarga) |   |   |
| Introdução de tóxicos                               | Desequilíbrios que afetam principalmente BMs e acúmulo de VFAS  |   |
| Temperatura   |   |   |
| Pressão de oxigênio                                 |   |   |

Fonte: Mata-Alvarez (2015).

#### 4.3.3.2.1 Biometanização

A biometanização é um processo de digestão anaeróbia, conhecida como uma alternativa ambientalmente sustentável na gestão de RSU, que possui como material de entrada a FORSU (restos de alimentos, estrume e resíduos agrícolas) e como produto de saída do processo obtém-se o biogás como material gasoso e um material sólido com possíveis usos agrícolas (WID & HORAN, 2018).

Dentre os tratamentos biológicos, o tratamento anaeróbio pode ser citado como o que apresenta maior custo-eficiência devido à sua alta aquisição energética e baixo impacto

ambiental. Sendo um processo simples que tem como consequência a redução de RSU a ser enviado a aterros sanitários ou lixões; gerar um material digerido menos nocivo que aquele não tratado (estabilização de resíduos) e que ainda pode ser utilizado como material alternativo para adubo. Ademais há também a possibilidade de se reaproveitar biogás para fins energéticos, uma vez que ele é majoritariamente composto por metano e dióxido de carbono. É válido apontar que o processo de DA é o mesmo que aquele apresentado em aterros (seção 4.3.1), porém é diferenciado pela utilização de equipamentos e técnicas para acelerar e controlar as etapas (RUBENS, 2021).

A maioria dos processos de DA, o que inclui a biometanização, necessitam de uma fase de pré-tratamento do material de entrada, para evitar problemas citados em seção 4.3.3.2, garantindo que os materiais recicláveis possam ser extraídos. Esse tratamento envolve separação ou triagem de materiais não biodegradáveis e trituração.

É habitual a diluição da carga para se atingir teores desejáveis de sólidos e, para tal, podem ser utilizadas água da rede de abastecimento, esgotos ou líquido recirculante do efluente de digestor. Uma outra adição ao processo seria a de trocadores de calor para manter a temperatura desejável no vaso de digestão (RUBENS, 2021).

Pode-se subdividir a biometanização em quatro etapas gerais:

- Pré-tratamento;
- Digestão de resíduos;
- Recuperação de biogás;
- Tratamentos de rejeitos;

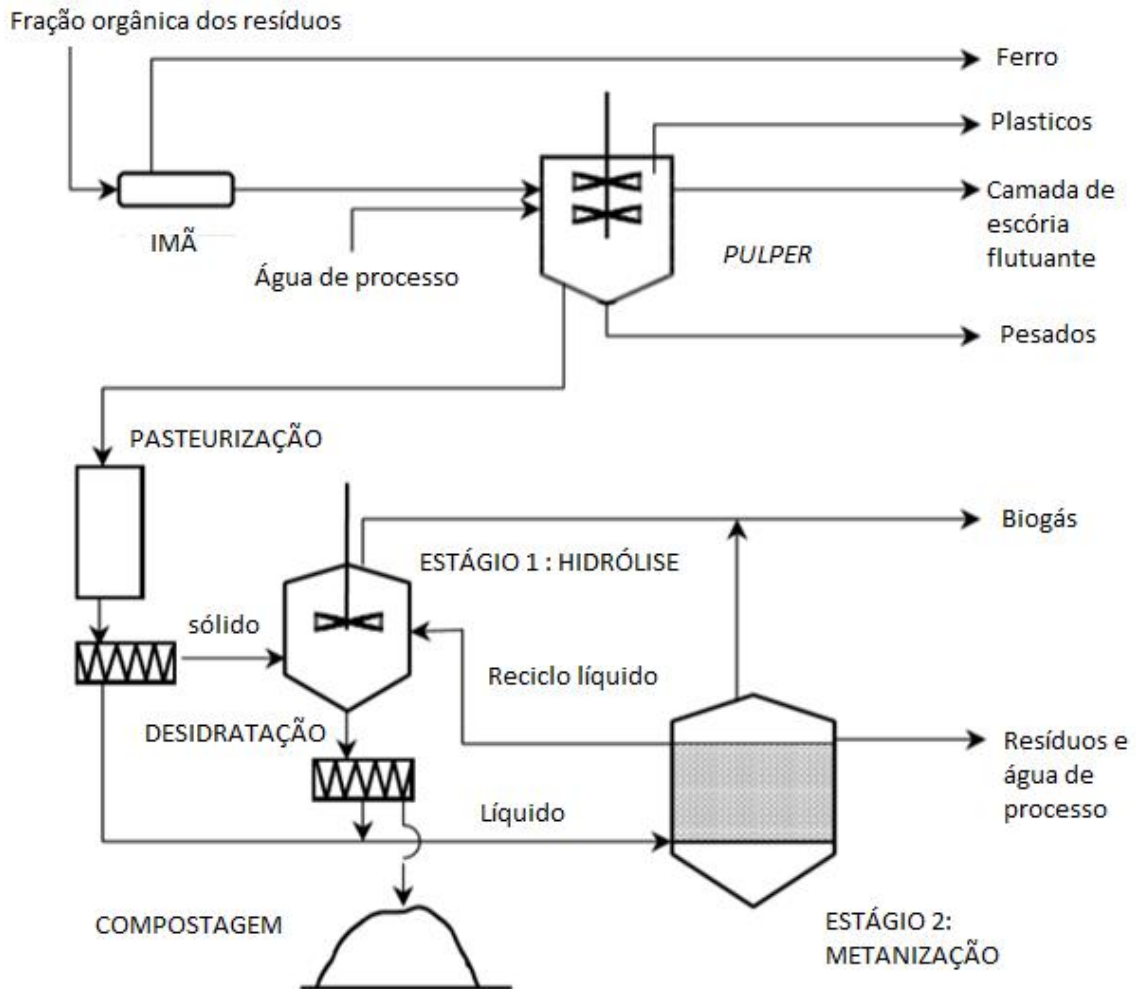
Existem alguns processos que podem ser empregados em sistema de DA, os processos de uma fase ou duas fases; contínuo ou em bateladas; a seco ou úmido. MATA-ALVAREZ (2015) aponta que a seleção do melhor tipo de reator se dá pela necessidade do sistema avaliado e que a escolha do processo mais adequado depende do tipo de matéria prima e do processo mais adequado a necessidade.

No processo em que há duas fases são separados os estágios de digestão primeiramente em liquefação-acidogênese, principalmente limitada pela lenta reação de hidrólise da celulose, e por seguinte acetogênese e metanogênese. O sistema de dois estágios é escolhido principalmente pela sua confiabilidade biológica mesmo em resíduos que apresentam problemas em método de uma fase, a segunda vantagem é que o método de duas fases pode apresentar maior rendimento dependendo do resíduo a ser tratado. No controle é necessário neutralização do fluxo de entrada da segunda fase, sendo essa feita utilizando o sobrenadante do processo ou através de algum material neutralizador externo. A maioria dos esquemas de

dois estágios operam com retenção da biomassa na segunda etapa, dessa forma é apresentada uma performance justa mesmo em resíduos com alta carga de nitrogênio e presença de alguns inibidores (MATA-ALVAREZ, 2015).

.Um exemplo de um processo de duas fases seria o processo BTA (**Figura 10**), onde a polpa de dez por cento de sólidos totais que sai da pasteurização é desidratada e então diretamente mandada para o reator metanogênico. O bolo é resuspenso em água e hidrolisado em reator de mistura em condições mesofílicas. O pH dentro do reator de hidrólise é mantido entre seis e sete pela recirculação da água do processo de metanização. O produto do reator de hidrólise é mais uma vez desidratado e então alimentado ao reator de metanogênese. É indicado que dentre diversas dificuldades técnicas que podem ocorrer nesse tipo de reator, a maior delas seria a complexidade do sistema , onde são utilizados quatro reatores e poderia ser utilizado apenas um, como é o caso do processo de uma fase (MATA-ALVAREZ, 2015).

**Figura 10** – Processo BTA de digestão “úmido-úmido”.

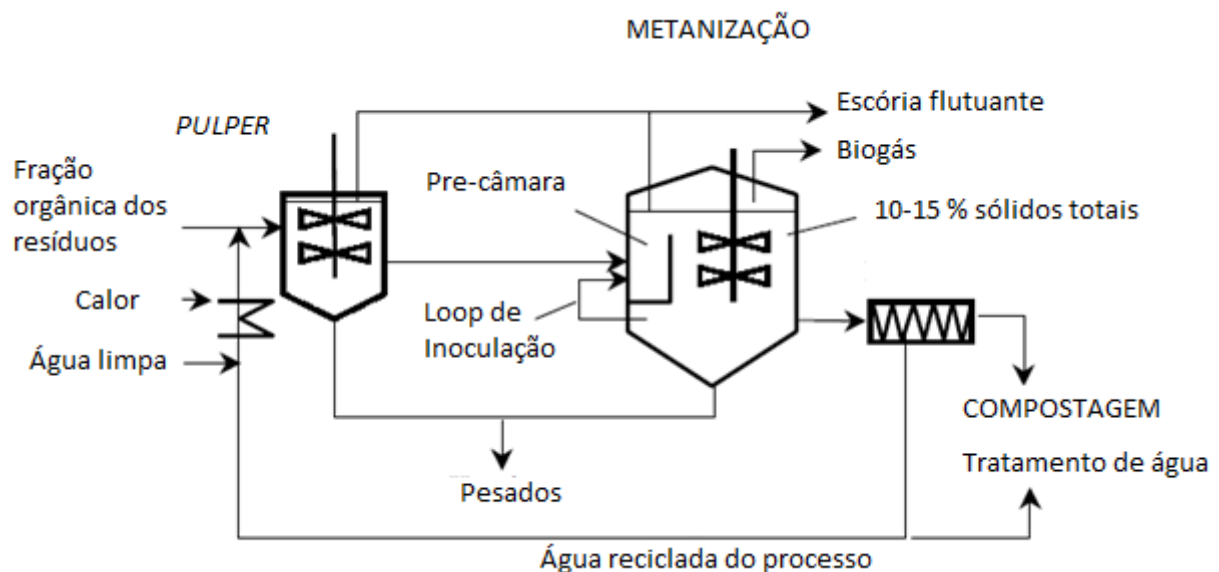


Fonte: Adaptado de MATA-ALVAREZ (2015).

Por outro lado, reatores de apenas uma fase (**Figura 11**) pode-se apresentar como simples em sua estrutura apresentando menor frequência de problemas e técnicos e com custo de investimento inicial menor. O processo consegue ser bem atrativo mesmo para resíduos que não são ideais para processos de uma etapa uma vez que são utilizadas misturas de resíduos juntamente com aqueles que poderiam causar perdas na DA reduzindo assim suas falhas. É inclusive apontado que para um processo bem controlado e bem dimensionado, tendo entre dez e quinze por cento de sólidos totais, os reatores de uma fase apresentam desempenho tão alto quanto de dois estágios (WEILAND, 1992). No exemplo do processo de *Waasa*, Finlândia, em 1989, um misturador do tipo helicoidal é usado para homogeneizar a massa de resíduos e alcançar a faixa de quinze por cento de sólidos totais utilizando água de reciclo e água do sistema de alimentação.



**Figura 11** – Esquema simplificado de processo de DA monofásico úmido.



Fonte: MATA-ALVAREZ (2015).

O pré-tratamento necessário para processo de uma fase pode ser complexo pois almeja remover o máximo de partículas grossas e contaminantes pesados. Esse processo requer a menor perda possível de material biodegradável e ao mesmo tempo uma boa extração de contaminantes de processo. Para alcançar isso pode requerer a utilização de telas, tambores, prensas, etc e ainda assim são estimadas perdas de 15 % a 25 % de sólidos voláteis, com queda proporcional na obtenção de biogás. Outro possível problema para este método está no “curto-circuito”, quando o tempo de retenção não se apresenta suficiente e ocorrem prejuízos na obtenção de biogás e também redução na qualidade de higienização do produto final, uma vez que microrganismos patogênicos não passaram pelo tempo de retenção necessário para matá-los (MATA-ALVAREZ, 2015).

Ainda é possível citar sistemas monofásicos do tipo “secos”, nesses sistemas utiliza-se material com sólidos totais de 20% a 40% onde apenas substratos muito secos (acima de 50% de sólidos totais) são diluídos com água. Por se tratar de um sistema com alta concentração de sólidos os mecanismos utilizados nesse tipo de sistema utilizam correias, parafusos de transporte e bombas especiais para sistemas super viscosos. Esse sistema se demonstra robusto e com pré-tratamento mais simples que os demais, requerendo apenas remoção de grossos acima de aproximadamente 40 mm. De todo modo impurezas como pedras, vidro e madeira não apresentam tantos problemas quanto se processados em sistema úmido. Sua performance

pode se apresentar similar a sistemas “úmidos”, porém este rendimento varia da necessidade e do tipo de resíduo.

Por fim é possível indicar os reatores por batelada, que possuem menor complexidade e custo de implantação cerca de 10% menor comparado a sistemas com alimentação contínua segundo (BRUMMERLER, 1992). Ainda segundo o autor, por tonelada de resíduo tratado é necessário cerca de uma área dez vezes maior e o custo geral da operação se assemelha aquele dos sistemas contínuos.

Nos sistemas por batelada pode-se apontar que as etapas de DA são todas em regime sólido, suportando cerca de 30% a 40% de sólidos totais. Apesar de possuir similaridade com o processo de obtenção de biogás a partir de aterros, isto é, sistema fechado e remoção direta, é indicado que pode obter de 50 a 100 vezes mais biogás quando comparado com aterros. Esta diferença pode ser explicada devido a dois fatores: o primeiro deles é que em sistema de batelada o lixiviado é mantido recirculando em câmara, permitindo dispersão de inoculantes, nutrientes e ácidos; o segundo motivo se deve ao sistema de batelada habitualmente se dar em temperaturas mais altas daquelas observadas em aterros, favorecendo a velocidade da DA (MATA-ALVAREZ, 2015).

#### **4.4. GESTÃO DE RSU NO BRASIL**

No Brasil foram produzidas 79 milhões de toneladas de resíduos gerados em 2018. Para fazer frente a todos os serviços de limpeza urbana do Brasil, governo municipal investiu em média 10,15 reais por habitante. Esses serviços empregaram diretamente 332 mil empregos formais no período, queda de 1,4% em relação ao ano de 2017. O mercado de limpeza urbana transferiu recursos equivalentes a 28,1 bilhões de reais no país, uma redução de 1,28% em relação ao ano anterior (ABRELPE, 2020)

Entre os anos de 2017 e 2018, a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil aumentou quase um por cento, atingindo 216.629 t/dia. Como a população cresceu nesse período (0,40%), o crescimento da geração de energia per capita foi um pouco menor (0,39%). Isso significa que o brasileiro médio gera mais de um quilo de lixo/dia. Das 72,7 milhões de toneladas de RSU coletadas no Brasil em 2018, 59,5% do volume de disposição final foram coletados e destinados a aterros - um aumento de 2,4% em relação ao valor total do ano anterior. No entanto, unidades inadequadas, como lixões e aterros controlados, ainda representam uma grande parcela (23% e 17,5%, respectivamente). Eles existem em todas as regiões e recebem

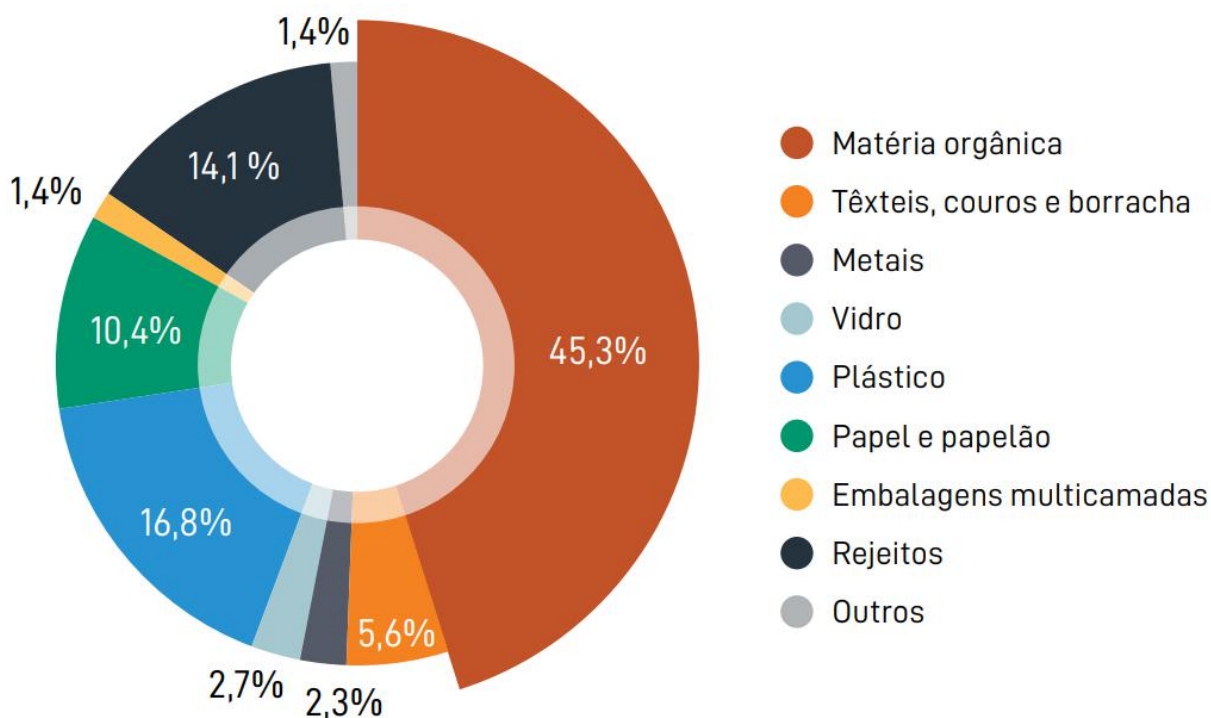
mais de 80 mil toneladas de resíduos todos os dias, que têm grande probabilidade de causar poluição ambiental e efeitos negativos para a saúde (ABRELPE, 2020)

É estimado que de um total de um total aproximado de 75,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos coletados (dos municípios participantes do SNIS-2019), cerca de 43,2 milhões de toneladas ou 56,9 % do total é destinada a aterros sanitários, cerca de 6,6 milhões de toneladas são destinadas para aterros controlados e 7,2 milhões de toneladas (aproximadamente 9,5%) são despejadas em lixões. A incineração se apresenta com baixa participação, sendo destino de 8,618 mil toneladas ou 0,011% do total (SNIS, 2019).

#### 4.4.1. Composição gravimétrica do RSU no Brasil

A composição dos RSU é de extrema importância pois, permitem que sejam tomadas medidas de tratamento, reutilização e disposição correspondentes às suas características. A composição por fração de massa do resíduo, chamada de composição gravimétrica, é aquela utilizada para caracterizar a composição do lixo. Conforme a **Figura 12**, no Brasil a maior fração do lixo, aproximadamente 45%, é de material orgânico (ABRELPE, 2020).

**Figura 12** – Composição dos resíduos sólidos urbanos.



Fonte: ABRELPE (2020).

Dada essa fração de orgânicos no lixo (45,3%), então pode-se entender que dentre os tratamentos a serem utilizados para os resíduos, um dos que mais se destacaria pela sua praticidade de aplicação seria a DA por biometanização, visando uma redução de massa dos resíduos a serem dispostos nos aterros, geração de novos produtos e menor emissão de gases estufa.

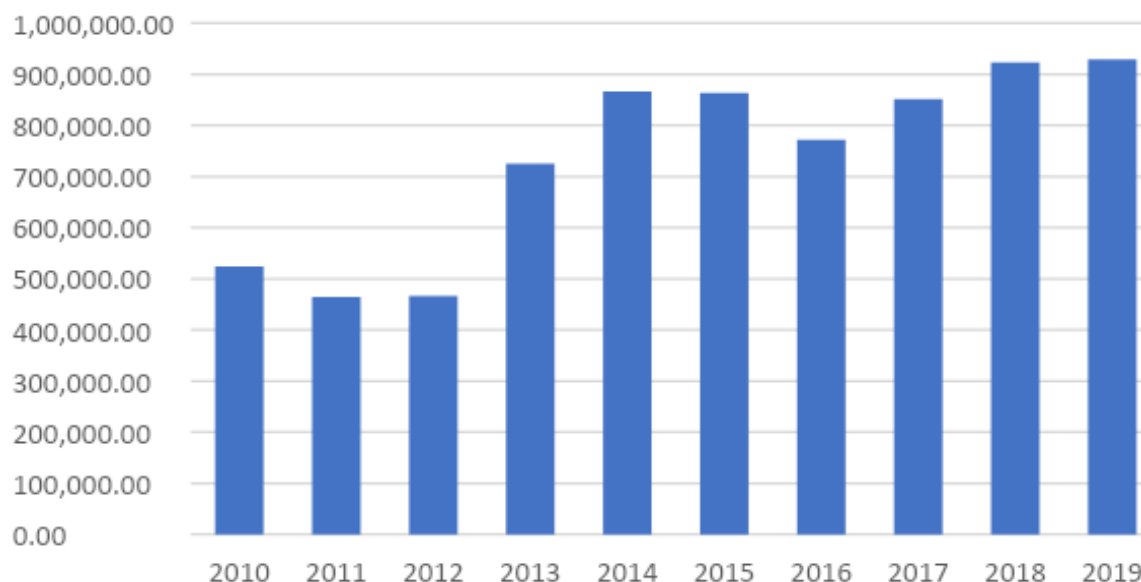
#### **4.4.2. Reciclagem do RSU no Brasil**

O processo de reciclagem consiste num processo de transformações de materiais com o objetivo de possibilitar a reintrodução dos resíduos no processo de produção. É uma prática que precisa ser difundida, especialmente pela economia da energia gasta nos processos de produção e pela diminuição na utilização de matéria-prima virgem. A reciclagem provém da necessidade de economizar e reduzir a utilização dos recursos naturais e minimizar os resíduos produzidos, e dessa maneira reduzindo o volume a ser transportado, tratado e disposto. Desta maneira os resíduos são menos dispostos em aterros aumentando a vida útil dos mesmos (CRUZ, 2002).

Para que seja possível a reciclagem, se faz necessário que haja uma coleta seletiva que possa separar o material pelas suas características específicas, tais como metais, papéis, vidros e metais e orgânicos (ou biodegradáveis), previamente separados na fonte geradora. A coleta seletiva exige, por sua vez, uma seção de triagem onde os materiais são recebidos, discriminados, picados, enfardados e acondicionados e caso seja necessário o material pode ser pré-beneficiado, o que pode agregar valor à sucata a ser comercializada (CEMPRE, 2018).

Pode-se observar que, de acordo com os valores do SNIS (2019), o volume de resíduos sólidos recuperados para reciclagem só vem aumentando, com aproximadamente 929 mil toneladas recuperadas no ano de 2019, o maior volume recuperado desde o ano de 2010, como mostra a **Figura 13**.

**Figura 13** – Massa de resíduos sólidos recuperada dos municípios participantes.



Fonte: Adaptado de SNIS (2019).

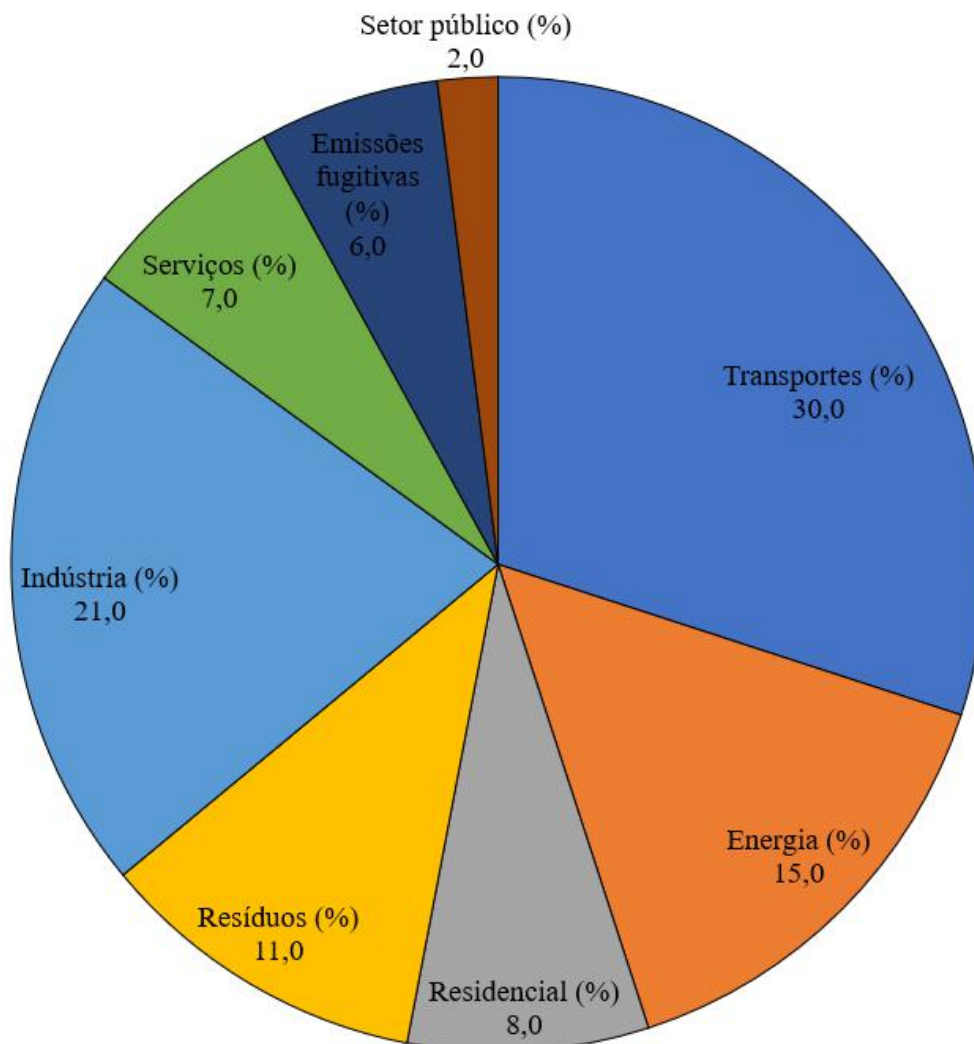
#### 4.5. GESTÃO DE RSU NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

No município do Rio de Janeiro além da lei federal 12305/2010 está em vigência também a lei municipal de mudanças climáticas 5248/2011 que possui metas para redução de gases do efeito estufa (GEE) e por esse motivo o município segue monitorando sua situação em relação aos resíduos sólidos e seus impactos na sociedade.

Segundo o PMGIRS (2016), o setor de resíduos sólidos é responsável por 11% das emissões de dióxido de carbono equivalente (**Figura 14**), de acordo com o inventário de gases do efeito estufa (GEE) de 2012.

Segundo FORSTER *et al.* (2007) o metano (CH<sub>4</sub>) gerado na decomposição de RSU em aterros pode ser equivalente a 25 vezes a massa de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) quanto ao potencial de aquecimento global, ou seja, 1 kg (CH<sub>4</sub>) é igual a 25 kg (CO<sub>2</sub>).

**Figura 14** – Emissões por setor (%) de um total de 22 milhões de toneladas equivalente de CO<sub>2</sub>.



Fonte: Adaptado de PMGIRS do Rio de Janeiro (2016).

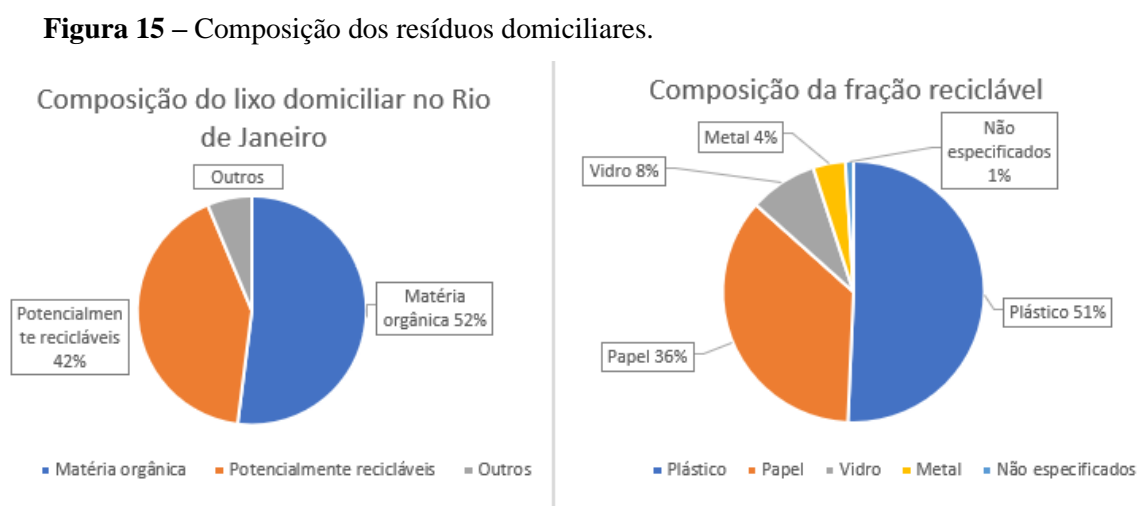
Para atuar de maneira a suprir as regulamentações que tangem o meio ambiente e a saúde, e seguindo as leis supracitadas o município criou o seu Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Nesse plano se encontram objetivos, diagnósticos, políticas adotadas, gerenciamento para casos específicos, sistema de logística reversa, diretrizes, metas etc.

#### 4.5.1. Diagnóstico dos resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) da Cidade do Rio de Janeiro, a Companhia de Limpeza Urbana (COMLURB) no ano de 2014 encaminhou para as suas unidades uma média de 9 mil t/dia de resíduos, dos quais: 53,11% eram resíduos domiciliares; 30,69% eram resíduos de limpeza urbana; 9,29% eram resíduos de grandes geradores (incluindo resíduos da construção civil que chegam nas unidades da COMLURB) e 6,91% eram resíduos da Rede Municipal de Saúde, de Remoção Gratuita e de Emergência e outros (PMGIRS, 2016).

Segundo o Diagnóstico Preliminar de Resíduos Sólidos da cidade do Rio de Janeiro, cerca de 18-22 mil toneladas de resíduos estão sendo gerados diariamente, tanto para grandes geradores quanto para todos os outros geradores que não utilizam da rede COMLURB de coleta. A estimativa de 22 mil t/dia está na ordem de duas vezes a capacidade de coleta e destinação que estão a cargo do Sistema Público de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (DPRSCRJ, 2015).

Do resíduo domiciliar gerado no Rio de Janeiro é possível observar que aproximadamente 52% é matéria orgânica e 41,7% são recicláveis, desses recicláveis 87 % deles são de plásticos e papel e o restante (13%) são vidro e metal e outros materiais (PMGIRS, 2016). A **Figura 15** ilustra esse quadro:



Fonte: Adaptado de PMGIRS (2016).

Cerca de 93,2 % do fluxo de resíduos sólidos gerados na Cidade é destinado ao CTR-Rio, em Seropédica, após passar pelas Estações (ou unidades) de Transferência de Resíduos -

ETR. Para o CTR-Gericinó, seguem 6,3% de Resíduos da Construção Civil e o restante, 0,5% compreendem o fluxo da Coleta Seletiva (PMGIRS, 2016).

Como cerca de 52% dos resíduos domésticos provêm de matéria orgânica, o relatório preliminar de resíduos sólidos indica que podem ser emitidos cerca de 500 m<sup>3</sup> de metano (CH<sub>4</sub>) por tonelada de resíduo disposto, porém um número mais exato para o caso do resíduo do Rio de Janeiro ainda está por ser estudado.

No Rio de Janeiro, hoje a disposição de resíduos se dá em sua imensa maioria (93,2%) pelo Centro de Tratamento de Resíduos - Rio de Janeiro (CTR-Rio), localizado em Seropédica e, por força de licenciamento ambiental, recebe resíduos do município do Rio de Janeiro, Itaguaí e Seropédica. A CTR-Rio foi inaugurada em 2011 e possui 220 hectares. Essa CTR conta com tecnologia de impermeabilização das camadas inferiores do aterro, sua impermeabilização é feita através de mantas reforçadas de polietileno de alta densidade (PEAD) e camadas de argila compactada. A estação conta com cerca de 300 sensores ligados a um software para monitorar anormalidades que possam se apresentar no solo. A estação é projetada para tratar mil e duzentos metros cúbicos por dia de chorume dos resíduos através de um processo de nanofiltração. O biogás gerado, que apresenta predominância de metano, um gás de alto potencial estufa, é queimado em *flares* que o transformam em dióxido de carbono, um gás com menor potencial de efeito estufa (PMGIRS, 2016).

Além do CTR-Rio, segundo o PMGIRS (2016), o aterro desativado de Gericinó para RSU, ainda recebe resíduos especiais como os resíduos da construção civil (RCC) e resíduos de serviços da saúde (RSS). Os resíduos de saúde são tratados em reator pirolítico.

#### **4.5.2. Situação de reutilização, coleta seletiva e reciclagem**

Tendo em vista o volume cada vez mais crescente de resíduos produzidos no município e adjacência, a COMLURB estuda alternativas de valorização dos resíduos sólidos, como por exemplo aplicação de novos usos para resíduos da construção civil (RCC), buscando alternativas que reutilizem esses recursos nas próprias construções ou em unidades de beneficiamento licenciadas. Alternativas estudadas pela COMLURB envolvem a compostagem da FORSU e a biometanização desse mesmo material na usina da TMethar, aumentando assim a vida útil do aterro CTR-rio.

Ainda de acordo com PMGIRS (2016) existe coleta seletiva de porta a porta, porém essa iniciativa pode ser considerada modesta pois foram atingidas aproximadamente 63 mil



toneladas entre os anos de 2011 e 2015. o material de coleta seletiva é encaminhado para cooperativas e associações de catadores cadastradas.

## 5. BIOMETANIZAÇÃO E O ESTUDO DA UNIDADE DO CAJU

A Usina de Metanização de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento Energético de Biogás (TMethar) é fruto de parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a empresa METHANUM Resíduo e Energia e a Companhia De Limpeza Pública Urbana da Cidade do Rio de Janeiro (COMLURB). O projeto conta com financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e está implementado na unidade de Transbordo de Resíduos do Caju (UTR-Caju/COMLURB), na cidade do Rio de Janeiro.

A inauguração da TMethar ocorreu no ano de 2018, sendo a primeira usina de tratamento da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) com tecnologia de Túneis de Metanização por Bateladas Sequenciais (TMBS) da América Latina.

Segundo QUIAN *et al* (2016) a TMBS surge como alternativa às tecnologias de digestão anaeróbia úmida, mais comuns, por apresentar vantagens como a maior aceitação de impurezas no substrato, tornando dispensável o pré-tratamento do resíduo, e seu baixo consumo energético.

A TMBS baseia-se em digerir anaerobiamente o substrato fresco (normalmente sem pré-tratamento), ou seja a FORSU, dentro de reatores de Metanização em Estado Sólido por Bateladas (MESB), parecidos com uma garagem ou túnel (**Figura 16**), dos quais é feita a coleta de um lixiviado, o qual é submetido a um tratamento preliminar dado por gradeamento duplo para remoção de areia e sólidos grosseiros (**Figura 17**), e então digerido em uma unidade de produção de inóculo, UPI (**Figura 18A**), para então ser novamente inserido nos reatores por um sistema de aspersão (**Figura 18B**).

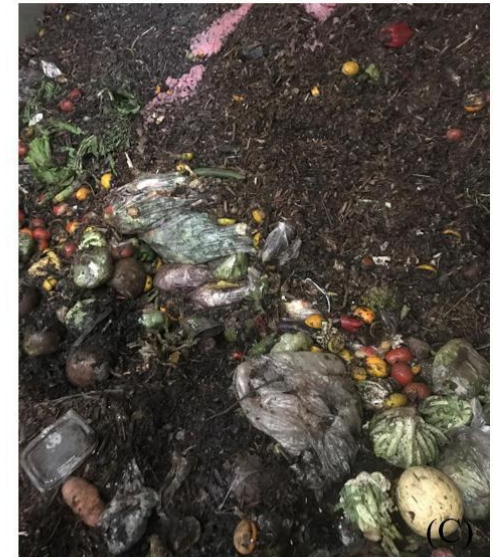
Ao final do processo a fração sólida (material digerido) é retirada dos reatores (**Figura 19**) e é submetida a um processo de compostagem (**Figura 20**) visando produção de bio sólido. A fração gasosa, ou o biogás, é armazenada no gasômetro em bolsas têxteis com pressurizador (**Figura 21**) e depois passa por um sistema de tratamento de gases (**Figura 22**), seguindo para sua queima em flare (**Figura 23**) ou outros possíveis usos como combustível automotivo e geração de energia térmica e elétrica (**Figura 24**).

Conforme detalhe da Figura 24, a produção simultânea de energia elétrica e térmica através de uma única fonte de combustível, por exemplo o biogás, constitui uma CHP, “*Combined Heat and Power*” ou calor e potência combinados.

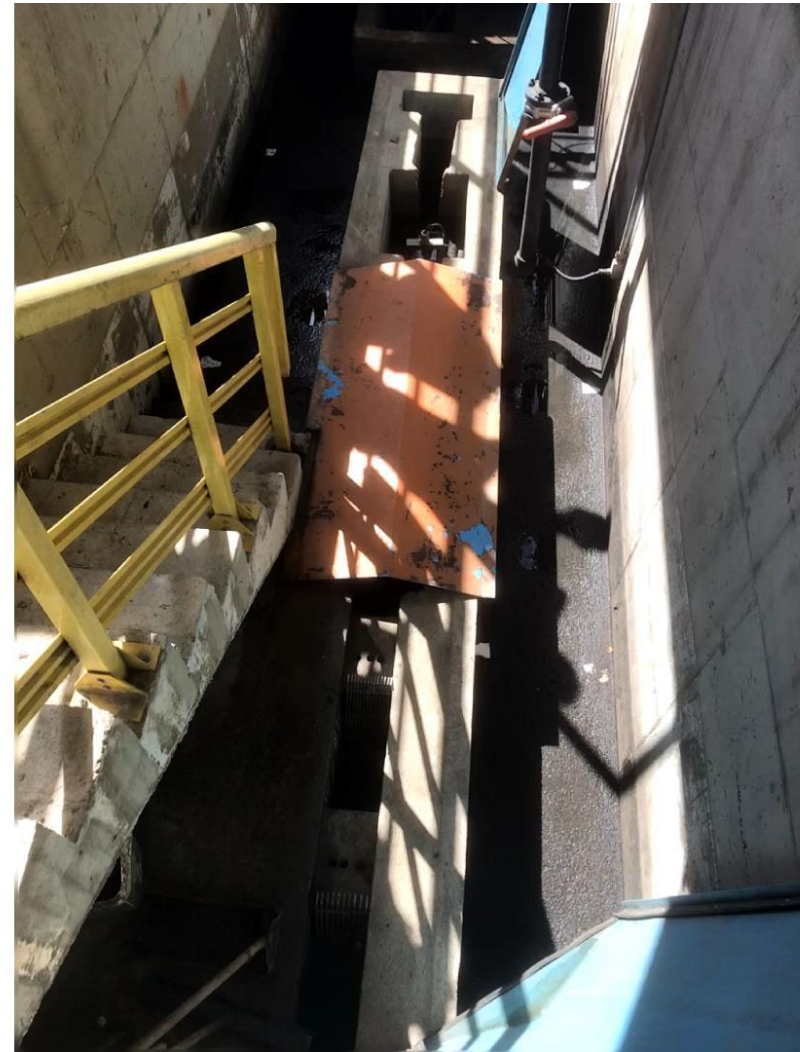
De acordo com PROBIOGÁS (2010), o tratamento de gases por dessulfurização química biológica do gás pode ser dado por um sistema de dois estágios composto de uma coluna de lavagem recheada (absorção do ácido sulfídrico por meio de solução de soda cáustica diluída), um biodigestor (regeneração da solução de lavagem com oxigênio do ar) e um separador de enxofre (remoção do enxofre elementar). Por meio da regeneração separada, evita-se a injeção de ar no biogás.

A **Figura 25** apresenta o modelo esquemático da planta TMethar que descreve alguns detalhes da tecnologia de TMBS.

**Figura 16** – Figura 16: (A) Reatores de Metanização em Estado Sólido por Bateladas (MESB); (B) MESB sem a FORSU; (C) FORSU (sem pré-tratamento); (D) MESB com a FORSU.



**Figura 17** – Tratamento preliminar do lixiviado por gradeamento duplo.





**Figura 18** – UPI ou Unidade de produção e inóculo (A); Sistema de aspersão no interior do túnel reator (B).





**Figura 19** – Material digerido.





**Figura 20** – Sistema de compostagem.





**Figura 21** – Bolsa têxtil com pressurizador para armazenamento de biogás.





**Figura 22** – Dessulfurização químico biológica do biogás. Parte inferior (A) e superior (B) da coluna.



**Figura 23** – *Flare* para queima do biogás.

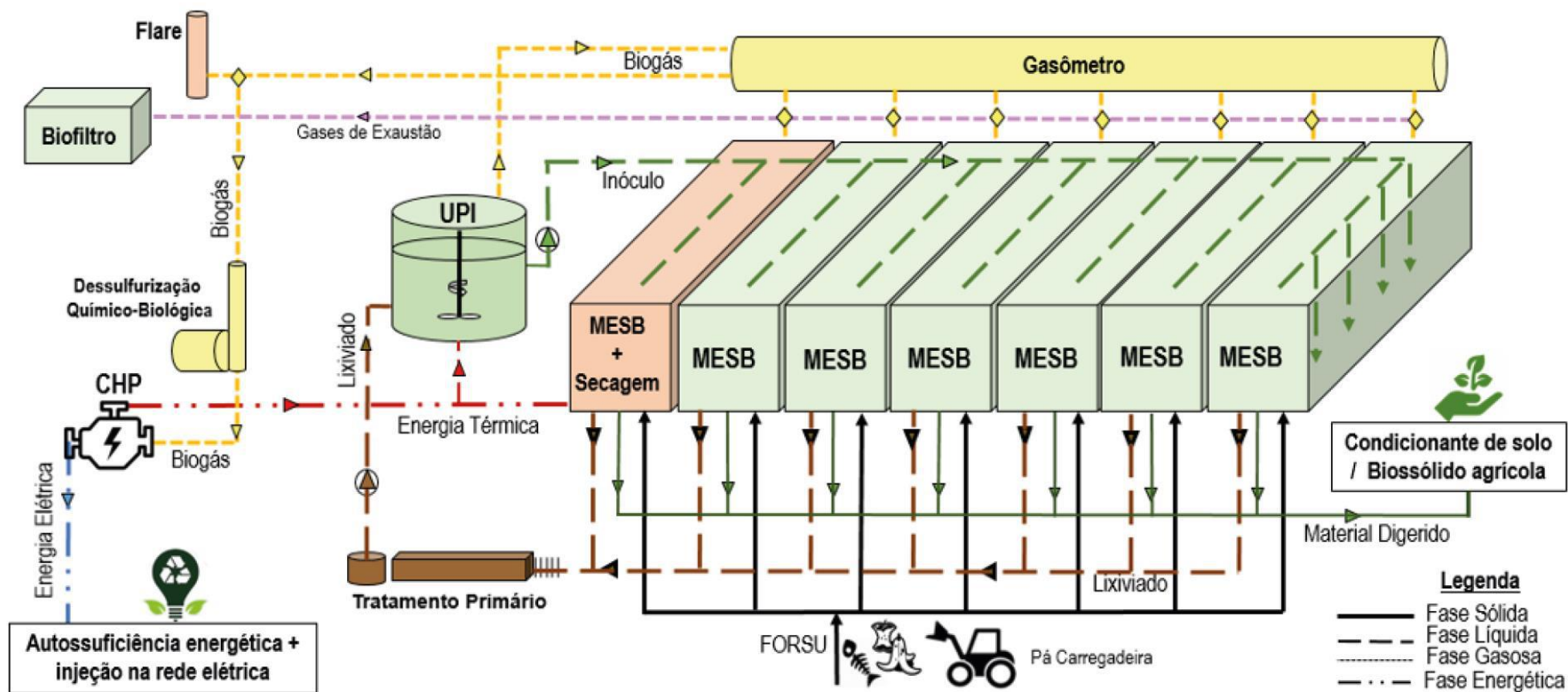




**Figura 24** – Uso do biogás na geração de energia térmica ou elétrica.



**Figura 25** – Modelo esquemático da planta TMethar que descreve alguns detalhes da tecnologia de TMBS.



Fonte: FRANCA E FERREIRA (2020).

O sistema TMethar foi dimensionado para tratar parte da FORSU recebida na UTR-Caju/COMLURB, como os resíduos orgânicos de centros de abastecimento de alimentos, de redes de supermercados, de feiras livres, de hotéis e de outros grandes geradores.

A tecnologia, que tem capacidade para tratar até trinta toneladas de FORSU por dia, é composta pelos componentes, apresentados na **Figura 25**: seis reatores MESB (**Figura 16**) e um reator híbrido, que pode operar tanto para a metanização quanto para a secagem térmica do material digerido; um reator anaeróbio de mistura completa, para a estabilização biológica do lixiviado e produção de inóculo, denominado UPI (**Figura 18**); um reservatório flexível não pressurizado para o armazenamento do biogás gerado (**Figura 21**) ; um biofiltro para o tratamento (desodorização) dos gases residuais; um sistema de tratamento químico-biológico de biogás para remoção do ácido sulfídrico ( $H_2S$ ) e parte do  $CO_2$  contidos no biogás (**Figura 22**); um queimador de biogás ou flare (**Figura 23**); e uma unidade de cogeração de energia elétrica e térmica (CHP) composta por um motor de combustão interna (Figura 24).

Segundo FRANCA E FERREIRA (2020), o processo de tratamento da TMethar acontece em quatro etapas integradas:

(i) Recepção e armazenamento da FORSU: o tratamento se inicia com a recepção e o armazenamento da FORSU, etapa na qual os caminhões de coleta descarregam os resíduos em um pátio coberto e impermeabilizado (**Figura 26**), onde o material descartado é homogeneizado e agregado com o auxílio de uma pá carregadeira.

**Figura 26** - Descarregamento da FORSU.



(ii) metanização em estado sólido por batelada sequencial: quando a FORSU se acumula na quantidade necessária para o tratamento, o resíduo é disposto no interior dos reatores MESB (**Figura 27A**). Os túneis devem possuir portas com fechamento hermético evitando a entrada de oxigênio para formação de um meio anaeróbio (**Figura 27B**).



**Figura 27** – MESB com a FORSU disposta em seu interior (A); Detalhe da porta com fechamento hermético (B).



É nos reatores MESB que o processo de digestão anaeróbia da FORSU ocorre. No interior deles, existe um sistema de canaletas para o recolhimento do líquido e uma tubulação superior para a saída do biogás gerado. O fator essencial para o tratamento é o sistema de aspersão (**Figura 18B**) do inóculo sobre a camada da FORSU em digestão, que acelera esse processo biológico.

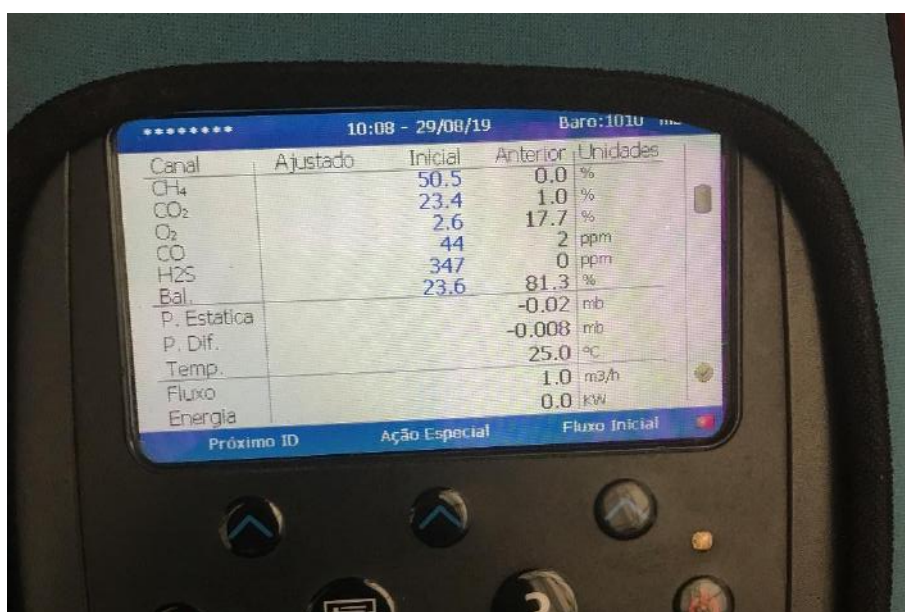
Todo o líquido recolhido dos reatores MESB e do pátio de recepção é direcionado para o tratamento preliminar do líquido, que conta com um sistema de gradeamento duplo para a retirada de sólidos grosseiros e areia (**Figura 17**). O líquido é, então, bombeado para a UPI (**Figura 18A**), onde também é tratado por digestão anaeróbia.

(iii) Pós-tratamento do material digerido: corresponde ao pós-tratamento do material digerido retirado dos reatores MESB (**Figura 19**). Nessa etapa o material digerido é submetido a compostagem (digestão aeróbia), com objetivo de promover a sua estabilização e produção de biossólido, que pode ser utilizado no setor agrícola como composto orgânico, a depender de suas características físico-químicas e microbiológicas.

(iv) Acondicionamento, tratamento e aproveitamento energético do biogás: todo o volume de biogás gerado, tanto pela UPI quanto pelos reatores MESB, é acondicionado, tratado e aproveitado energeticamente, naquela que vem a ser a última etapa do sistema.

A concentração dos componentes do biogás produzido é constantemente monitorada (**Figura 28**) e somente quando a concentração de metano é de cerca de 50% é possível o aproveitamento energético do biogás no motor de cogeração CHP. No caso de concentrações abaixo dessa faixa, o biogás é oxidado em um queimador flare. Já os gases residuais (sem metano) são encaminhados pra o tratamento (desodorização) em uma unidade de biofiltração. Nos casos de aproveitamento energético, o biogás é direcionado para a Unidade de Tratamento do Biogás para dessulfurização do biogás (remoção do sulfeto de hidrogênio).

**Figura 28** - Monitoramento dos componentes do biogás.



Em relação a outros detalhes do processo da TMethar, após a inserção da FORSU no MESB, a temperatura atingida é de cerca de 28°C no primeiro dia. Quando a temperatura se aproxima de 45°C o inóculo (microrganismos especializados, geneticamente modificados para produzirem mais gás metano na biodigestão) é adicionado por aspersão dentro do MESB, na camada superficial de FORSU. A partir do quarto ou quinto dia a produção de biogás se inicia com percentual reduzido de gás metano, o produto de interesse. A partir do oitavo dia obtém-se em torno de 30 até 50% de metano no biogás, o que já torna possível sua utilização.



O gás obtido pelo MESB passa por um processo de lavagem que ocasiona na solubilização dos gases de enxofre, principalmente de ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), aumentando o percentual de metano e reduzindo a corrosividade do sistema. O destino final do metano da unidade de processamento depende principalmente de sua concentração de saída do MESB:

(i) Se a concentração de metano no biogás for superior a 50% v/v, o biogás é adicionado ao motor gerador (**Figura 29**);

**Figura 29** – Motor gerador movido a biogás.



(ii) Se a concentração de metano no biogás estiver na faixa entre 50% a 15%, o biogás é incinerado em um flare (**Figura 23**), gerando dióxido de carbono, um gás que apresenta potencial de aquecimento global vinte e cinco vezes menor que o do metano (FORSTER et al, 2007);

(iii) Se a concentração de metano no biogás estiver menor que oito por cento, o biogás é tratado em um leito que possui cascas de coco e o substrato final da decomposição do processo, suportado por pedras, conforme a **Figura 30**.

**Figura 30** – Tratamento com casca de coco para biogás com 8% de metano.



Através dessa filtração com casca de coco e substrato, também chamado de biofiltro, é possível extrair o mal cheiro do biogás, devido a sua característica porosa e ao ambiente em que se encontra propiciar o crescimento de microrganismos que oxidam o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) responsável pelo mau cheiro (GIEQ, 2013).

## 6. POSSÍVEIS MELHORIAS NA GESTÃO DE RSU NO RIO DE JANEIRO

Conforme apresenta a Figura 31, de um total de 9227 t/dia de resíduos coletados pela COMLURB em 2014, cerca de 4900,46 t/dia (53,35%) são domiciliares, os quais são compostos por 2548,24 t/dia (52%) de matéria orgânica (FORSU) e 2058,19 t/dia (42%) de recicláveis (vidro, metal, plástico, papel). Assim sendo, o primeiro aspecto a ser discutido na busca por melhorias é o respeito a Lei 12305/2010, ou seja, considerar que a fração orgânica e a reciclável são recursos e não devem perder valor com sua disposição em aterros sanitários. Apesar disso, 99,5% dos resíduos coletados no Rio de Janeiro são dispostos em aterros sanitários, sendo reciclados somente 0,5% ou 46,14 t/dia.

Para promover a destinação final ambientalmente adequada desses recursos um primeiro passo pode ser dado por propagandas públicas de orientação da população para separar os materiais na origem (fonte) de geração, possibilitando a coleta seletiva. Para a FORSU, a utilização do processo de biometanização pode ser interessante no que se refere aos produtos gerados: o biogás com poder combustível e um material sólido digerido com possível poder nutriente.

Levando em consideração que a unidade da TMethar possui capacidade de operação de 30 t/dia e o que o total reciclado no município é de 46,14 t/dia, a implantação de outra unidade poderia aumentar significativamente o total que é reciclado no município do Rio de Janeiro, claro que supondo que a biometanização recicla a matéria orgânica. Essa consideração de reciclar a matéria orgânica por meio de tratamento biológico (compostagem ou DA) é comum na Europa.

Um segundo aspecto a ser considerado é a utilização da incineração, com a vantagem da geração de energia pela combustão dos materiais, no entanto com desvantagem em relação aos produtos gerados, como os poluentes atmosféricos (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, particulados, dioxinas, furanos), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como gás estufa e as cinzas (material sólido inorgânico). A fração sólida proveniente da DA, aplicando por exemplo a biometanização, pode apresentar parâmetros para ser utilizada na agricultura, já as cinzas de incineração teriam possível aplicação na área da construção civil.

Um terceiro aspecto a ser considerado é o balanço de carbono. Na biometanização o carbono presente na FORSU é perdido somente em parte (**Figura 19**) e o material digerido ainda possui carbono. Supondo aplicação agrícola desse material após

tratamento por compostagem, o seu conteúdo de carbono irá ser estocado no solo. No caso da incineração, todo o carbono do resíduo irá sofrer combustão completa e tornar-se  $\text{CO}_2$ , sobrando cinzas inorgânicas como material sólido residual, além dos poluentes atmosféricos já citados. Já na disposição em aterros sanitários, o resíduo irá sofrer DA na maior parte do tempo, gerando chorume que precisará ser coletado e tratado, além de biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e outros) que também deverá ser coletado e tratado. No transporte rodoviário dos resíduos até a localização do aterro também serão geradas emissões de  $\text{CO}_2$  e de poluentes atmosféricos.

Um dado que reflete o problema da geração de gases estufa no município do Rio de Janeiro é registrado pelo PMGIRS (2016): as emissões de dióxido de carbono equivalente no município do Rio de Janeiro concentram-se no transporte público (30%) e nos resíduos (11%) devido a emissão de metano nos aterros sanitários.

Assim, considero que em relação a incineração e aterros sanitários, o processo de biometanização apresenta-se como aquele que gera mais produtos utilizáveis (biogás e o material digerido) e que enterra no solo o carbono presente no material digerido, caso ele possua características necessárias para aplicação agrícola.

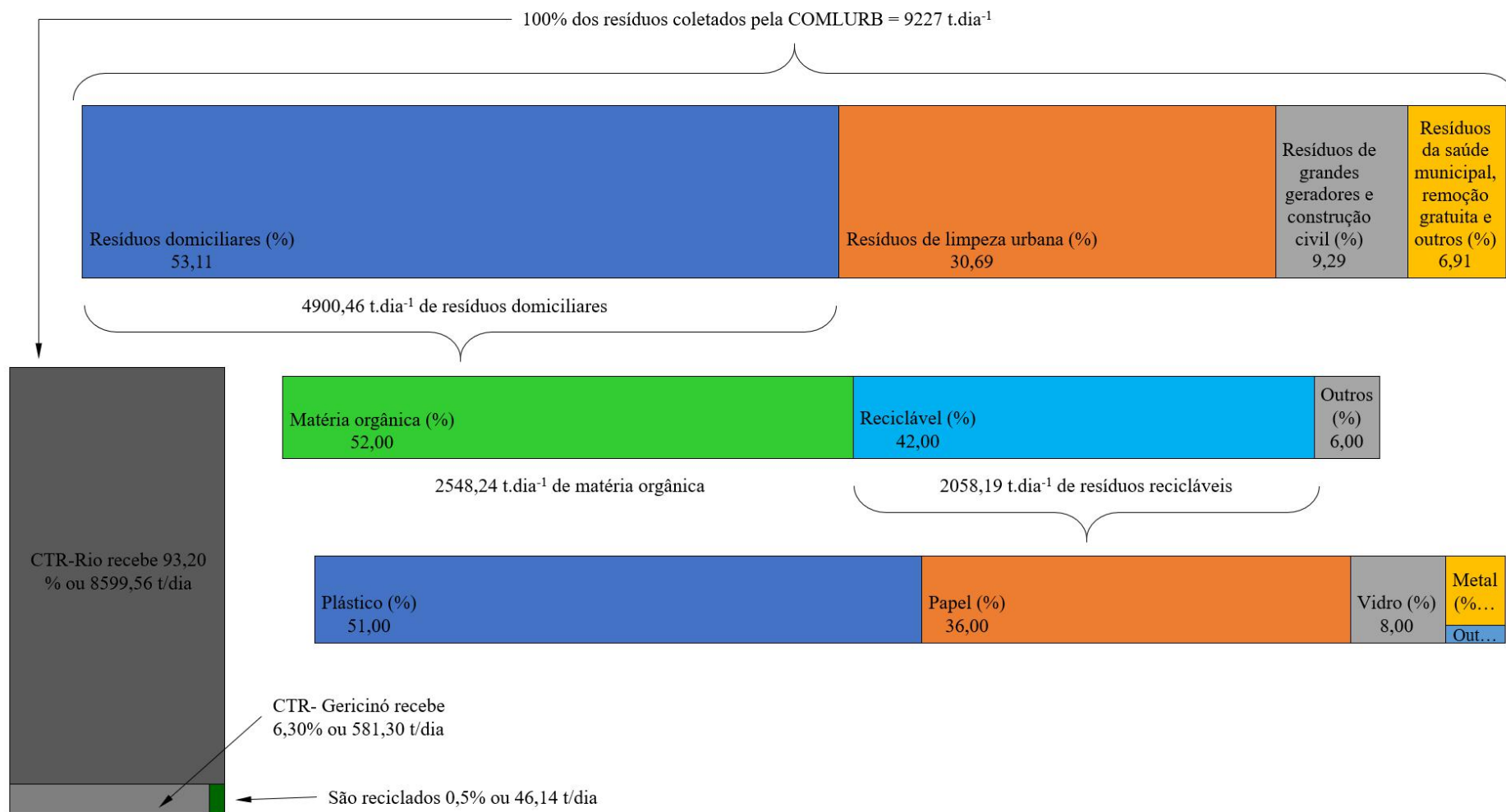
A utilização do processo de biometanização vai de acordo com a Lei 12305/2010, no que se refere a utilizar a FORSU e a considerar um recurso. Pelo fato de gerar um material digerido que pode estocar carbono no solo, a biometanização também vai de acordo com a Lei Municipal de Mudanças Climáticas 5248/2011, que considera a necessidade de redução da emissão de gases estufa.

Em termos de tecnologia da biometanização, dentro da indicação de AHRING *et al.* (1992) a co-digestão de resíduos de origens diferentes pode contribuir para um maior potencial de biogás das plantas de DA, tornando o processo mais viável economicamente.

O processo de co-digestão pode ser definido como a mistura de pelo menos dois tipos de resíduos de origens distintas. Essa mistura pode afetar a digestão aumentando a produção de metano; aperfeiçoando a estabilidade do sistema; obtenção de melhor manuseio do sistema. A maior vantagem econômica poderia ser apontada como tratamento de mais de uma corrente de resíduos em uma só estação de tratamento, além de capacidade de tratamento de quantidades mais altas de resíduos em uma estação centralizada.

Uma hipótese plausível para a melhoria na obtenção de metano na usina da TMethar seria utilização de lodo da ETE Alegria (aproximadamente 500m de distância da estação de transferência do Caju) aspergidos em quantidades pequenas relativas a fração sólida dos resíduos em batelada. Desta forma será possível maximizar a obtenção de metano e ao mesmo tempo reduzir, de forma sutil, a carga de trabalho ETE Alegria. Esta conjectura se demonstra ainda interessante pois no processo de biometanização há o reaproveitamento da energia térmica dos motores geradores movidos a biogás, que podem ser utilizados para secagem do material digerido.

**Figura 31** – Tipo, composição e destino dos resíduos coletados pela COMLURB.



Fonte: Adaptado de PMGIRS (2016).

## 7. CONCLUSÕES

Apesar de haver várias soluções possíveis para o tratamento da fração orgânica do resíduo sólido através da DA, as alternativas se demonstram específicas para processos em que há a possibilidade de pré-tratamento e uma estrutura onde o investimento inicial não se apresente como um impedimento. No caso da estação da usina da TMethar na UTR-Caju no Rio de Janeiro, a alternativa de reatores (MESB) se apresenta como uma solução prática, permitindo, mesmo que de maneira incipiente, um maior reaproveitamento dos resíduos e menor emissão de gases estufa, introduzindo essa possibilidade de melhoria na PMGIRS do município do Rio de Janeiro.

Pelo processo da TMethar há vantagem operacional do sistema, uma vez que não requer pré-tratamento e a batelada necessita de poucas variações operacionais ao longo da digestão, facilitando a operação e a redução de possíveis falhas de digestão. A possível implantação de outra unidade de biometanização poderá aumentar significativamente (mais 30 t/dia) a quantidade de resíduos que são reciclados no município do Rio de Janeiro.

Em relação a incineração e aterros sanitários, o processo de biometanização apresenta-se como aquele que gera mais produtos utilizáveis (biogás e o material digerido) e que enterra no solo o carbono presente no material digerido, caso ele possua características necessárias para aplicação agrícola.

A utilização do processo de biometanização vai de acordo com a Lei 12305/2010, no que se refere a utilizar a FORSU e a considerar um recurso. Pelo fato de gerar um material digerido que pode estocar carbono no solo, a biometanização também vai de acordo com a Lei Municipal de Mudanças Climáticas 5248/2011, que considera a necessidade de redução da emissão de gases estufa.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020** (ano-base 2010 a 2019), 2020.

AHRING, B.K., ANGELIDAKI, I. & JOHANSEN, K. **Anaerobic treatment of manure together with industrial waste**. Water Science And Technology 25(7), 311–318. (1992).

ALBUQUERQUE, J. B. TORRES DE. **Resíduos sólidos**. Leme: Independente, 2011.

AZBAR, N., URSILLO, P. AND SPEECE, R. **Effects of process configuration and substrate complexity on the performance of anaerobic processes**. Water Research 35(3), 817–829, 2001.

BEYENE, HAYELOM DARGO; AYALIEW, ADHENA WERKNEH; AMBAYE, TEKILT GEBREGERGS. **Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review**. Renewable Energy Focus. Volume 24, p 1-11, mar 2018.

BEYENE, HAYELOM DARGO; WERKNEH, ADHENA AYALIEW; GEBREGERGS, TEKILT AMBAYE. **Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review**. Renewable Energy Focus, Páginas 1-11, 24, março 2018.

BONNE, D.R.; XUM, L. **Effects of pH, temperature and nutrients on propionate degradation by a methanogenic enrichment culture**. Applied and Environmental Microbiology, Applied and environmental microbiology, p. 1589–1592, 1 jun. 1987.

BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **idades, Rio de Janeiro** disponível em: <https://idades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>, acessado em 17/06/2021.

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto (PROBIOGAS)**, Brasília, 2015.

BRASIL, Prefeitura do rio de janeiro. **Lei Nº 5248, de 27 de janeiro de 2011**, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em <https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/lei->



ordinaria/2011/524/5248/lei-ordinaria-n-5248-2011-institui-a-politica-municipal-sobre-mudanca-do-clima-e-desenvolvimento-sustentavel-dispoe-sobre-o-estabelecimento-de-metas-de-reducao-de-emissoes-antropicas-de-gases-de-efeito-estufa-para-o-municipio-do-rio-de-janeiro-e-da-outras-providencias. acesso em junho de 2021

SNIS. BRASIL, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS)**. ano base de 2017, 2019.

PNRS. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n. 12.305, de 2 de agosto. de 2010. Brasília, DF, agosto. de 2010.

CEMPRE, **Lixo municipal manual de gerenciamento integrado**, 4<sup>a</sup> edição (revista e ampliada), 2018.

COHEN, A. **Optimization of anaerobic digestion of soluble carbohydrate containing wastewaters by phase separation**, Ph.D. Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, Países Baixos, 1982.

CONSONNI, S.; VIGANÒ F. **Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial**, abril 2012.

COSTA, BEATRIZ SOUZA; RIBEIRO, JOSÉ CLÁUDIO JUNQUEIRA. **Gestão e CRISTINA DAL BOSCO,TATIANE et al.Compostagem e Vermicompostagem de Resíduos**, Bluncher open access, ed 1, 2017.

D'ALMEIDA, M.L.O. & VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2º ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. p. 370. 2000.

DICKSON,N.,RICHARD,T. e KOZLOWSKI, R.**Composting to reduce the waste stream: A Guide to Small Scale Food and Yard Waste Composting**, Natural Resource, Agricultural, and Engeneering Service (NRAES-43), 152 Riley-Robb Hall, cooperative Extention Ithaca, New York,14853, 1991.

FRANCA, L. S; FERREIRA, B. O. (2020). **Túneis de metanização como tecnologia de tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos**. Revista Ineana, V. 08, n.1 p.58, 07 de janeiro de 2020. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Revista-ineana-8.1.pdf>. Acessado em 12 junho 2021

FRANKENFELD, CAMILA MACHADO. **Incineração: uma análise do tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP**. Rio de Janeiro: UFRJ- escola politênica, 2015.

FORSTER, P., V. RAMASWAMY, P. ARTAXO, T. BERNTSEN, R. BETTS, D.W. FAHEY, J. HAYWOOD, J. LEAN, D.C. LOWE, G. MYHRE, J. NGANGA, R. PRINN, G. RAGA, M. SCHULZ AND R. VAN DORLAND. 2007: **Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing**. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Gerardi MH. **The microbiological of anaerobic digesters**. Wiley, Hoboken, NJ, Canada, 2003.

GIEQ, grupo de de investigação no ensino da química. **Casca de coco deve eliminar fedor em estação de tratamento de esgoto**. Universidade Federal de Santa Catarina , março de 2013. Disponível em : [https://www.gieq.ufsc.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43:cascacoco&catid=1:news&Itemid=7#.YQ8hJUBv-Uk](https://www.gieq.ufsc.br/index.php?option=com_content&view=article&id=43:cascacoco&catid=1:news&Itemid=7#.YQ8hJUBv-Uk) acesso em 7/08/2021

GUO, R.; LI, G.; JIANG, T.; SCHUCHARDT, F.; CHEN, T.; ZHAO, Y.; SHEN, Y. **Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost**. *Bioresource Technology*, Elmsford, v. 112, 2012.

HACHICHA, R.; REKIK, O.; HACHICHA, S.; FERCHICHI, M.; WOODWARD, S.; MONCEF, N.; CEGARRA, J.; MECHICHI, T. **Co-composting of spent coffee ground with olive mill wastewater sludge and poultry manure and effect of *Trametes versicolor* inoculation on the compost maturity**. *Chemosphere*, 2012.

HENRIQUES, RACHEL MARTINS; BASTO OLIVEIRA, L.; OLIVEIRA DA COSTA, A.. **Geração de Energia com Resíduos Sólidos Urbanos Análise Custo Benefício**, 2004.

HUBBE M.A.; NAZHAD M.; SANCHEZ C. **Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: a review**. BioResources, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). CEMPRE (São Paulo). Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**, [S. l.], p. 278, 1 jan. 1987.

KIEHL, EDMAR JOSÉ. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. [S.l: s.n.], 1998.

BRITO, L. Embrapa. Circular técnica. **Processo de Compostagem, a Partir de Lixo Orgânico Urbano, em Leira Estática com Ventilação Natural**, 2004. disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/407137/1/Circ.tec.33.pdf>, acesso em: 20 abr. 2021.

LIMA,D.L.D., SANTOS S.M.,SCHERER, H.W., SCHENEIDER, R.J.,DUARTE,A. C.,SANTOS,E.B.H AND ESTEVES,V.I. **Effects of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties**, Geoderma 150(1-2),38-45, 2009.

LOPEZ-REAL, J.M. **Agroindustrial waste composting and its agricultural significance**. Wye College; University of London. Proceedings of the Fertilizer Society n°293, p. 1 -26. Kent, Reino Unido 1990.

CRUZ, L. A. M. **A reciclagem dos resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2002.

LUZ CAYUELA, M.; SANCHEZ-MONEDERO, M.A.; ROIG, A.; SINICCO, T.; MONDINI, C. **Biochemical changes and GHG emissions during composting of lignocellulosic residues with different Nrich by-products**. Chemosphere, 2012.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares. 2008.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2008. doi:10.11606/T.18.2008.tde-18112008-084858. Acesso em: 06 jun 2021.

MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes.** Department of Chemical Engineering, University of Barcelona, Barcelona, Spain, 2015.

MEHTA, C.M.; PALNI, U.; FRANKE-WHITTLE, I.H.; SHARMA, A.K. **Compost: its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases.** Waste Manage, 2013.

MERKEL, W., WERNER, M., ULRICH, S. AND KARLHEINZ, K. Water Science and Technology 27(2), 25–36. **Population dynamics in anaerobic wastewater reactors: modelling and in situ characterization.** Water Research 33(10),2392–2402. 1999.

MIRON, Y., ZEEMAN, G., VANLIER, J.B. AND LETTINGA, G. **The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems.** Water Research 34(5), 1705–1713, 2000.

NBR 10004 ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro. 2004. Disponível em :[http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT\\_NBR\\_n\\_10004\\_2004.pdf](http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_2004.pdf). acesso junho de 2021.

NBR 10004 ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro. 2004. <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf> acesso em junho de 2021

NBR 8419 ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419/1992: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento**. 1996. <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-8.419-NB-843-Apresentação-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-RSU.pdf> acesso junho de 2021.

OLIVEIRA, Márcio Portella e CLÁUDIO, José Junqueira Ribeiro. **Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos**. *Revista Direito Ambiental e sociedade*, v. 4, n. 1 (p. 115-134), 2014.

PALENZUELA-ROLLON, A. **Anaerobic digestion of fish wastewater with special emphasis on hydrolysis of suspended solids**. Ph.D. thesis, Agricultural University, Wageningen, 1999.

DPRSCRJ. Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro & COPPE- UFRJ. **Diagnóstico preliminar de resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro**, 2015.

PMGIRS. (2016). **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Prefeitura do Rio de Janeiro 2017-2020**. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <https://www.dinamicasistemas.com.br/upload/files/utlimo>.

QIAN, M. Y; LI, R. H; LI, J; WEDWITSCHKA, H; NELLES, M; STINNER, W; ZHOU, H. J. (2016). **Industrial scale garage-type dry fermentation of municipal solid waste to biogas**. *Bioresource Technology*, V. 217, 82–89. doi:10.1016/j.biortech.2016.02.07.

PROBIOGÁS, Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil. “Guia prático do biogás – geração e utilização”, 5ª edição. Gülzow, 2010. Disponível em: [http://www.limpezapublica.com.br/cartilhas/giz\\_-\\_guia\\_pratico\\_do\\_biogas\\_final.pdf](http://www.limpezapublica.com.br/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf).

RAZALI, W.A.W.; BAHARUDDIN, A.S.; TARMEZEETALIB, A.; SULAIMAN, A.; NAIM, M.N.; HASSAN, M.A.; SHIRAI, Y. **Degradation of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) fibre during composting process using in-vessel composter**. *BioResources*, 2012.

SANDERS, W.T.M., GEERINK, M., ZEEMAN, G. AND LETTINGA, G. **Anaerobic hydrolysis kinetics of particulate substrates**. Water Science and Technology 41(3), 17–24, 2001.

SIEGRIST, H., RENGGLI, D. AND GUJER, W. **Mathematical modelling of anaerobic mesophilic**, 1993.

SOARES, Fabio Rubens. **Reaproveitamento energético dos resíduos orgânicos**. Pesquisador do GBio (Grupo de Pesquisa em Bioenergia) no IEE-Instituto de Energia e Ambiente da USP e Especialista da ABREN/WtERT Brasil (Associação Brasileira de Recuperação Energética). Disponível em : <https://noticias.ambientalmercantil.com/31/03/2021/reaproveitamento-energetico-dos-residuos-organicos/> Acesso em: 15 jun 2021.

SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA LLC ,**Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**, R. A. Meyers (ed.), 2018.

TEN BRUMMELER, E. Dry anaerobic digestion of solid waste in the Biocel process with a full scale unit. In Proc. Int. Symp. on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Venice, 14–17 April, 1992.

THEMELIS, N. J. & BOURTSALAS, A. C. **Recovery of Materials and Energy from Urban Wastes**. doi:10.1007/978-1-4939-7850-2, 2019.

VALLERO, DANIEL A. **Control of Hazardous Air Pollutants**, in Fundamentals of Air Pollution , ed 4, p.846, 2008.

WEILAND, P. **One- and two-step anaerobic digestion of solid agroindustrial residues**. In **Proc. Int. Symp. on Anaerobic Digestion of Solid Waste**, Venice, 14–17 (Cecchi, J. Mata-Alvarez and F.G. Pohland), pp. 193–199. Int. Assoc. on Wat. Poll. Res. and Control, abril ,1992.

WID N., HORAN N.J. **Anaerobic Digestion of Screenings for Biogas Recovery**. Anaerobic Digestion Processes. Green Energy and Technology. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-8129-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8129-3_6), 2018.

WSP Environmental Ltd .**Waste technologies: waste to energy facilities**, A Report for the Strategic Waste Infrastructure Planning (SWIP), Austrália, maio de 2013.

## **9. ANEXOS**

### **ANEXO A – Lei federal 12305/2010**

Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos

LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.

Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

#### **TÍTULO I**

#### **DISPOSIÇÕES GERAIS**

#### **CAPÍTULO I**

#### **DO OBJETO E DO CAMPO DE APLICAÇÃO**

Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

§ 1º Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 2º Esta Lei não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica.

Art. 2º Aplicam-se aos resíduos sólidos, além do disposto nesta Lei, nas Leis nos 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 9.974, de 6 de junho de 2000, e 9.966, de 28 de abril de 2000, as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

#### **CAPÍTULO II**

#### **DEFINIÇÕES**

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

I - acordo setorial: ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto;

II - área contaminada: local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos;



III - área órfã contaminada: área contaminada cujos responsáveis pela disposição não sejam identificáveis ou individualizáveis;

IV - ciclo de vida do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;

V - coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;

VI - controle social: conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos;

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

IX - geradores de resíduos sólidos: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo;

X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

XII - logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

XIII - padrões sustentáveis de produção e consumo: produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras;

XIV - reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei;

XVIII - reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XIX - serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades previstas no art. 7º da Lei nº 11.445, de 2007.

## TÍTULO II

### DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

#### CAPÍTULO I

##### DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 4º A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Art. 5º A Política Nacional de Resíduos Sólidos integra a Política Nacional do Meio Ambiente e articula-se com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, com a Política Federal de Saneamento Básico, regulada pela Lei nº 11.445, de 2007, e com a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005.

#### CAPÍTULO II

##### DOS PRINCÍPIOS E OBJETIVOS

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:

a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;

XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

### CAPÍTULO III

#### DOS INSTRUMENTOS

Art. 8º São instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros:

I - os planos de resíduos sólidos;

II - os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;

III - a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

IV - o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

V - o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;

VI - a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;

VII - a pesquisa científica e tecnológica;

VIII - a educação ambiental;

IX - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios;

X - o Fundo Nacional do Meio Ambiente e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;

XI - o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir);

XII - o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa);

XIII - os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde;

XIV - os órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos;

XV - o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;

XVI - os acordos setoriais;

XVII - no que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, entre eles: a) os padrões de qualidade ambiental;

b) o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

c) o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

d) a avaliação de impactos ambientais;

e) o Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (Sinima);

f) o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

XVIII - os termos de compromisso e os termos de ajustamento de conduta; XIX - o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos.

### TÍTULO III

## DAS DIRETRIZES APLICÁVEIS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS

### CAPÍTULO I

#### DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

§ 2º A Política Nacional de Resíduos Sólidos e as Políticas de Resíduos Sólidos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios serão compatíveis com o disposto no caput e no § 1º deste artigo e com as demais diretrizes estabelecidas nesta Lei.

Art. 10. Incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do Sisnama, do SNVS e do Suasa, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos, consoante o estabelecido nesta Lei.

Art. 11. Observadas as diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento, incumbe aos Estados:

I - promover a integração da organização, do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum relacionadas à gestão dos resíduos sólidos nas regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, nos termos da lei complementar estadual prevista no § 3º do art. 25 da Constituição Federal;

II - controlar e fiscalizar as atividades dos geradores sujeitas a licenciamento ambiental pelo órgão estadual do Sisnama.

Parágrafo único. A atuação do Estado na forma do caput deve apoiar e priorizar as iniciativas do Município de soluções consorciadas ou compartilhadas entre 2 (dois) ou mais Municípios.

Art. 12. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios organizarão e manterão, de forma conjunta, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir), articulado com o Sinisa e o Sinima.

Parágrafo único. Incumbe aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios fornecer ao órgão federal responsável pela coordenação do Sinir todas as informações necessárias sobre os resíduos sob sua esfera de competência, na forma e na periodicidade estabelecidas em regulamento.

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e

mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do caput, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

## CAPÍTULO II

### DOS PLANOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

#### Seção I

##### Disposições Gerais

Art. 14. São planos de resíduos sólidos:

I - o Plano Nacional de Resíduos Sólidos;

II - os planos estaduais de resíduos sólidos;

III - os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas;

IV - os planos intermunicipais de resíduos sólidos;

V - os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos;

VI - os planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

Parágrafo único. É assegurada ampla publicidade ao conteúdo dos planos de resíduos sólidos, bem como controle social em sua formulação, implementação e operacionalização, observado o disposto na Lei no 10.650, de 16 de abril de 2003, e no art. 47 da Lei nº 11.445, de 2007.

#### Seção II

##### Do Plano Nacional de Resíduos Sólidos

Art. 15. A União elaborará, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, a ser atualizado a cada 4 (quatro) anos, tendo como conteúdo mínimo:

I - diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos;

II - proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas;

III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;

V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;

VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;

VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos;

IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico;

X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos;

XI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

Parágrafo único. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos será elaborado mediante processo de mobilização e participação social, incluindo a realização de audiências e consultas públicas.

### Seção III

#### Dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos

Art. 16. A elaboração de plano estadual de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para os Estados terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. (Vigência)

§ 1º Serão priorizados no acesso aos recursos da União referidos no caput os Estados que instituírem microrregiões, consoante o § 3o do art. 25 da Constituição Federal, para integrar a organização, o planejamento e a execução das ações a cargo de Municípios limítrofes na gestão dos resíduos sólidos.

§ 2º Serão estabelecidas em regulamento normas complementares sobre o acesso aos recursos da União na forma deste artigo.

§ 3º Respeitada a responsabilidade dos geradores nos termos desta Lei, as microrregiões instituídas conforme previsto no § 1o abrangem atividades de coleta seletiva, recuperação e reciclagem, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, a gestão de resíduos de construção civil, de serviços de transporte, de serviços de saúde, agrossilvopastoris ou outros resíduos, de acordo com as peculiaridades microrregionais.

Art. 17. O plano estadual de resíduos sólidos será elaborado para vigência por prazo indeterminado, abrangendo todo o território do Estado, com horizonte de atuação de 20 (vinte) anos e revisões a cada 4 (quatro) anos, e tendo como conteúdo mínimo:

I - diagnóstico, incluída a identificação dos principais fluxos de resíduos no Estado e seus impactos socioeconômicos e ambientais;

II - proposição de cenários;



III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;

V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;

VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos do Estado, para a obtenção de seu aval ou para o acesso de recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade estadual, quando destinados às ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;

VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão consorciada ou compartilhada dos resíduos sólidos;

IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões;

X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos, respeitadas as disposições estabelecidas em âmbito nacional;

XI - previsão, em conformidade com os demais instrumentos de planejamento territorial, especialmente o zoneamento ecológico-econômico e o zoneamento costeiro, de:

a) zonas favoráveis para a localização de unidades de tratamento de resíduos sólidos ou de disposição final de rejeitos;

b) áreas degradadas em razão de disposição inadequada de resíduos sólidos ou rejeitos a serem objeto de recuperação ambiental;

XII - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito estadual, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

§ 1º Além do plano estadual de resíduos sólidos, os Estados poderão elaborar planos microrregionais de resíduos sólidos, bem como planos específicos direcionados às regiões metropolitanas ou às aglomerações urbanas.

§ 2º A elaboração e a implementação pelos Estados de planos microrregionais de resíduos sólidos, ou de planos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, em consonância com o previsto no § 1o, dar-se-ão obrigatoriamente com a participação dos Municípios envolvidos e não excluem nem substituem qualquer das prerrogativas a cargo dos Municípios previstas por esta Lei.

§ 3º Respeitada a responsabilidade dos geradores nos termos desta Lei, o plano microrregional de resíduos sólidos deve atender ao previsto para o plano estadual e estabelecer soluções integradas para a coleta seletiva, a recuperação e a reciclagem, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos e, consideradas as peculiaridades microrregionais, outros tipos de resíduos.

#### Seção IV

## Dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

Art. 18. A elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. (Vigência)

§ 1º Serão priorizados no acesso aos recursos da União referidos no caput os Municípios que:

I - optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, incluída a elaboração e implementação de plano intermunicipal, ou que se inserirem de forma voluntária nos planos microrregionais de resíduos sólidos referidos no § 1º do art. 16;

II - implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.

§ 2º Serão estabelecidas em regulamento normas complementares sobre o acesso aos recursos da União na forma deste artigo.

Art. 19. O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

I - diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;

II - identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1º do art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver;

III - identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;

IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico nos termos do art. 20 ou a sistema de logística reversa na forma do art. 33, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

V - procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e observada a Lei nº 11.445, de 2007;

VI - indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

VII - regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual;

VIII - definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a que se refere o art. 20 a cargo do poder público;

IX - programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;

X - programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;

XI - programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;

XII - mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;

XIII - sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XIV - metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

XV - descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no art. 33, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XVI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 e dos sistemas de logística reversa previstos no art. 33;

XVII - ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;

XVIII - identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras;

XIX - periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal.

XIX - periodicidade de sua revisão, observado o período máximo de 10 (dez) anos. (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

§ 1º O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos pode estar inserido no plano de saneamento básico previsto no art. 19 da Lei nº 11.445, de 2007, respeitado o conteúdo mínimo previsto nos incisos do caput e observado o disposto no § 2º, todos deste artigo.

§ 2º Para Municípios com menos de 20.000 (vinte mil) habitantes, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos terá conteúdo simplificado, na forma do regulamento.

§ 3º O disposto no § 2º não se aplica a Municípios:

I - integrantes de áreas de especial interesse turístico;

II - inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional;

III - cujo território abranja, total ou parcialmente, Unidades de Conservação.

§ 4º A existência de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não exime o Município ou o Distrito Federal do licenciamento ambiental de aterros sanitários e de outras infraestruturas e instalações operacionais integrantes do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos pelo órgão competente do Sisnama.

§ 5º Na definição de responsabilidades na forma do inciso VIII do caput deste artigo, é vedado atribuir ao serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a realização de etapas do gerenciamento dos resíduos a que se refere o art. 20 em desacordo com a respectiva licença ambiental ou com normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS.

§ 6º Além do disposto nos incisos I a XIX do caput deste artigo, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos contemplará ações específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos órgãos da administração pública, com vistas à utilização racional dos recursos ambientais, ao combate a todas as formas de desperdício e à minimização da geração de resíduos sólidos.

§ 7º O conteúdo do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos será disponibilizado para o Sinir, na forma do regulamento.

§ 8º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não pode ser utilizada para impedir a instalação ou a operação de empreendimentos ou atividades devidamente licenciados pelos órgãos competentes.

§ 9º Nos termos do regulamento, o Município que optar por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, assegurado que o plano intermunicipal preencha os requisitos estabelecidos nos incisos I a XIX do caput deste artigo, pode ser dispensado da elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

## Seção V

### Do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Art. 20. Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos:

I - os geradores de resíduos sólidos previstos nas alíneas “e”, “f”, “g” e “k” do inciso I do art. 13;

II - os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que:

a) gerem resíduos perigosos;

b) gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal;

III - as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama;

IV - os responsáveis pelos terminais e outras instalações referidas na alínea “j” do inciso I do art. 13 e, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS, as empresas de transporte;

V - os responsáveis por atividades agrossilvopastoris, se exigido pelo órgão competente do Sisnama, do SNVS ou do Suasa.

Parágrafo único. Observado o disposto no Capítulo IV deste Título, serão estabelecidas por regulamento exigências específicas relativas ao plano de gerenciamento de resíduos perigosos.

Art. 21. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

I - descrição do empreendimento ou atividade;

II - diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;

III - observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;

b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;

IV - identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;

V - ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;

VI - metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem;

VII - se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31;

VIII - medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos;

IX - periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama.

§ 1º O plano de gerenciamento de resíduos sólidos atenderá ao disposto no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do respectivo Município, sem prejuízo das normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa.

§ 2º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não obsta a elaboração, a implementação ou a operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 3º Serão estabelecidos em regulamento:

I - normas sobre a exigibilidade e o conteúdo do plano de gerenciamento de resíduos sólidos relativo à atuação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

II - critérios e procedimentos simplificados para apresentação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos para microempresas e empresas de pequeno porte, assim consideradas as definidas nos incisos I e II do art. 3º da Lei Complementar no 123, de 14 de dezembro de 2006, desde que as atividades por elas desenvolvidas não gerem resíduos perigosos.

Art. 22. Para a elaboração, implementação, operacionalização e monitoramento de todas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, nelas incluído o controle da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, será designado responsável técnico devidamente habilitado.

Art. 23. Os responsáveis por plano de gerenciamento de resíduos sólidos manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente, ao órgão licenciador do Sisnama e a outras autoridades, informações completas sobre a implementação e a operacionalização do plano sob sua responsabilidade.

§ 1º Para a consecução do disposto no caput, sem prejuízo de outras exigências cabíveis por parte das autoridades, será implementado sistema declaratório com periodicidade, no mínimo, anual, na forma do regulamento.

§ 2º As informações referidas no caput serão repassadas pelos órgãos públicos ao Sinir, na forma do regulamento.

Art. 24. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos é parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade pelo órgão competente do Sisnama.

§ 1º Nos empreendimentos e atividades não sujeitos a licenciamento ambiental, a aprovação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos cabe à autoridade municipal competente.

§ 2º No processo de licenciamento ambiental referido no § 1º a cargo de órgão federal ou estadual do Sisnama, será assegurada oitiva do órgão municipal competente, em especial quanto à disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

### CAPÍTULO III

#### DAS RESPONSABILIDADES DOS GERADORES E DO PODER PÚBLICO

##### Seção I

##### Disposições Gerais

Art. 25. O poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos e das diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento.

Art. 26. O titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos é responsável pela organização e prestação direta ou indireta desses serviços, observados o respectivo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, a Lei nº 11.445, de 2007, e as disposições desta Lei e seu regulamento.

Art. 27. As pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 são responsáveis pela implementação e operacionalização integral do plano de gerenciamento de resíduos sólidos aprovado pelo órgão competente na forma do art. 24.

§ 1º A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos.

§ 2º Nos casos abrangidos pelo art. 20, as etapas sob responsabilidade do gerador que forem realizadas pelo poder público serão devidamente remuneradas pelas pessoas físicas ou jurídicas responsáveis, observado o disposto no § 5º do art. 19.

Art. 28. O gerador de resíduos sólidos domiciliares tem cessada sua responsabilidade pelos resíduos com a disponibilização adequada para a coleta ou, nos casos abrangidos pelo art. 33, com a devolução.

Art. 29. Cabe ao poder público atuar, subsidiariamente, com vistas a minimizar ou cessar o dano, logo que tome conhecimento de evento lesivo ao meio ambiente ou à saúde pública relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Parágrafo único. Os responsáveis pelo dano ressarcirão integralmente o poder público pelos gastos decorrentes das ações empreendidas na forma do caput.

## Seção II

### Da Responsabilidade Compartilhada

Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.

Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;

II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;

III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;

IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;

V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;

VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.



Art. 31. Sem prejuízo das obrigações estabelecidas no plano de gerenciamento de resíduos sólidos e com vistas a fortalecer a responsabilidade compartilhada e seus objetivos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes têm responsabilidade que abrange:

I - investimento no desenvolvimento, na fabricação e na colocação no mercado de produtos:

a) que sejam aptos, após o uso pelo consumidor, à reutilização, à reciclagem ou a outra forma de destinação ambientalmente adequada;

b) cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível;

II - divulgação de informações relativas às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados a seus respectivos produtos;

III - recolhimento dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, assim como sua subsequente destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa na forma do art. 33;

IV - compromisso de, quando firmados acordos ou termos de compromisso com o Município, participar das ações previstas no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, no caso de produtos ainda não incluídos no sistema de logística reversa.

Art. 32. As embalagens devem ser fabricadas com materiais que propiciem a reutilização ou a reciclagem.

§ 1º Cabe aos respectivos responsáveis assegurar que as embalagens sejam:

I - restritas em volume e peso às dimensões requeridas à proteção do conteúdo e à comercialização do produto;

II - projetadas de forma a serem reutilizadas de maneira tecnicamente viável e compatível com as exigências aplicáveis ao produto que contêm;

III - recicladas, se a reutilização não for possível.

§ 2º O regulamento disporá sobre os casos em que, por razões de ordem técnica ou econômica, não seja viável a aplicação do disposto no caput.

§ 3º É responsável pelo atendimento do disposto neste artigo todo aquele que:

I - manufatura embalagens ou fornece materiais para a fabricação de embalagens;

II - coloca em circulação embalagens, materiais para a fabricação de embalagens ou produtos embalados, em qualquer fase da cadeia de comércio.

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: (Regulamento)

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes. (Regulamento)

§ 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no caput serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados. (Regulamento)

§ 2º A definição dos produtos e embalagens a que se refere o § 1º considerará a viabilidade técnica e econômica da logística reversa, bem como o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

§ 3º Sem prejuízo de exigências específicas fixadas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS, ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, cabe aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos a que se referem os incisos II, III, V e VI ou dos produtos e embalagens a que se referem os incisos I e IV do caput e o § 1º tomar todas as medidas necessárias para assegurar a implementação e operacionalização do sistema de logística reversa sob seu encargo, consoante o estabelecido neste artigo, podendo, entre outras medidas:

I - implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usados;

II - disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis;

III - atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, nos casos de que trata o § 1º.

§ 4º Os consumidores deverão efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens a que se referem os incisos I a VI do caput, e de outros produtos ou embalagens objeto de logística reversa, na forma do § 1º.

§ 5º Os comerciantes e distribuidores deverão efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos e embalagens reunidos ou devolvidos na forma dos §§ 3º e 4º.

§ 6º Os fabricantes e os importadores darão destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens reunidos ou devolvidos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente do Sisnama e, se houver, pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

§ 7º Se o titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, por acordo setorial ou termo de compromisso firmado com o setor empresarial, encarregar-se de atividades de responsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes nos sistemas de logística reversa dos produtos e embalagens a que se refere este artigo, as ações do poder público serão devidamente remuneradas, na forma previamente acordada entre as partes.

§ 8º Com exceção dos consumidores, todos os participantes dos sistemas de logística reversa manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente e a outras autoridades informações completas sobre a realização das ações sob sua responsabilidade.

Art. 34. Os acordos setoriais ou termos de compromisso referidos no inciso IV do caput do art. 31 e no § 1º do art. 33 podem ter abrangência nacional, regional, estadual ou municipal.

§ 1º Os acordos setoriais e termos de compromisso firmados em âmbito nacional têm prevalência sobre os firmados em âmbito regional ou estadual, e estes sobre os firmados em âmbito municipal. (Vide Decreto nº 9.177, de 2017)

§ 2º Na aplicação de regras concorrentes consoante o § 1º, os acordos firmados com menor abrangência geográfica podem ampliar, mas não abrandar, as medidas de proteção ambiental constantes nos acordos setoriais e termos de compromisso firmados com maior abrangência geográfica. (Vide Decreto nº 9.177, de 2017)

Art. 35. Sempre que estabelecido sistema de coleta seletiva pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e na aplicação do art. 33, os consumidores são obrigados a:

I - acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados;

II - disponibilizar adequadamente os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis para coleta ou devolução.

Parágrafo único. O poder público municipal pode instituir incentivos econômicos aos consumidores que participam do sistema de coleta seletiva referido no caput, na forma de lei municipal.

Art. 36. No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

I - adotar procedimentos para reaproveitar os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

II - estabelecer sistema de coleta seletiva;

III - articular com os agentes econômicos e sociais medidas para viabilizar o retorno ao ciclo produtivo dos resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

IV - realizar as atividades definidas por acordo setorial ou termo de compromisso na forma do § 7º do art. 33, mediante a devida remuneração pelo setor empresarial;

V - implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido;

VI - dar disposição final ambientalmente adequada aos resíduos e rejeitos oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

§ 1º Para o cumprimento do disposto nos incisos I a IV do caput, o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos priorizará a organização e o funcionamento de

cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, bem como sua contratação.

§ 2º A contratação prevista no § 1º é dispensável de licitação, nos termos do inciso XXVII do art. 24 da Lei no 8.666, de 21 de junho de 1993.

## CAPÍTULO IV

### DOS RESÍDUOS PERIGOSOS

Art. 37. A instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos somente podem ser autorizados ou licenciados pelas autoridades competentes se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos.

Art. 38. As pessoas jurídicas que operam com resíduos perigosos, em qualquer fase do seu gerenciamento, são obrigadas a se cadastrar no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos.

§ 1º O cadastro previsto no caput será coordenado pelo órgão federal competente do Sisnama e implantado de forma conjunta pelas autoridades federais, estaduais e municipais.

§ 2º Para o cadastramento, as pessoas jurídicas referidas no caput necessitam contar com responsável técnico pelo gerenciamento dos resíduos perigosos, de seu próprio quadro de funcionários ou contratado, devidamente habilitado, cujos dados serão mantidos atualizados no cadastro.

§ 3º O cadastro a que se refere o caput é parte integrante do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais e do Sistema de Informações previsto no art. 12.

Art. 39. As pessoas jurídicas referidas no art. 38 são obrigadas a elaborar plano de gerenciamento de resíduos perigosos e submetê-lo ao órgão competente do Sisnama e, se couber, do SNVS, observado o conteúdo mínimo estabelecido no art. 21 e demais exigências previstas em regulamento ou em normas técnicas.

§ 1º O plano de gerenciamento de resíduos perigosos a que se refere o caput poderá estar inserido no plano de gerenciamento de resíduos a que se refere o art. 20.

§ 2º Cabe às pessoas jurídicas referidas no art. 38:

I - manter registro atualizado e facilmente acessível de todos os procedimentos relacionados à implementação e à operacionalização do plano previsto no caput;

II - informar anualmente ao órgão competente do Sisnama e, se couber, do SNVS, sobre a quantidade, a natureza e a destinação temporária ou final dos resíduos sob sua responsabilidade;

III - adotar medidas destinadas a reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos sob sua responsabilidade, bem como a aperfeiçoar seu gerenciamento;

IV - informar imediatamente aos órgãos competentes sobre a ocorrência de acidentes ou outros sinistros relacionados aos resíduos perigosos.

§ 3º Sempre que solicitado pelos órgãos competentes do Sisnama e do SNVS, será assegurado acesso para inspeção das instalações e dos procedimentos relacionados à implementação e à operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos perigosos.

§ 4º No caso de controle a cargo de órgão federal ou estadual do Sisnama e do SNVS, as informações sobre o conteúdo, a implementação e a operacionalização do plano previsto no caput serão repassadas ao poder público municipal, na forma do regulamento.

Art. 40. No licenciamento ambiental de empreendimentos ou atividades que operem com resíduos perigosos, o órgão licenciador do Sisnama pode exigir a contratação de seguro de responsabilidade civil

por danos causados ao meio ambiente ou à saúde pública, observadas as regras sobre cobertura e os limites máximos de contratação fixados em regulamento.

Parágrafo único. O disposto no caput considerará o porte da empresa, conforme regulamento.

Art. 41. Sem prejuízo das iniciativas de outras esferas governamentais, o Governo Federal deve estruturar e manter instrumentos e atividades voltados para promover a descontaminação de áreas órfãs.

Parágrafo único. Se, após descontaminação de sítio órfão realizada com recursos do Governo Federal ou de outro ente da Federação, forem identificados os responsáveis pela contaminação, estes ressarcirão integralmente o valor empregado ao poder público.

## CAPÍTULO V

### DOS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

Art. 42. O poder público poderá instituir medidas indutoras e linhas de financiamento para atender, prioritariamente, às iniciativas de:

- I - prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo;
- II - desenvolvimento de produtos com menores impactos à saúde humana e à qualidade ambiental em seu ciclo de vida;
- III - implantação de infraestrutura física e aquisição de equipamentos para cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda;
- IV - desenvolvimento de projetos de gestão dos resíduos sólidos de caráter intermunicipal ou, nos termos do inciso I do caput do art. 11, regional;
- V - estruturação de sistemas de coleta seletiva e de logística reversa;
- VI - descontaminação de áreas contaminadas, incluindo as áreas órfãs;
- VII - desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos;
- VIII - desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos.

Art. 43. No fomento ou na concessão de incentivos creditícios destinados a atender diretrizes desta Lei, as instituições oficiais de crédito podem estabelecer critérios diferenciados de acesso dos beneficiários aos créditos do Sistema Financeiro Nacional para investimentos produtivos.

Art. 44. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, no âmbito de suas competências, poderão instituir normas com o objetivo de conceder incentivos fiscais, financeiros ou creditícios, respeitadas as limitações da Lei Complementar no 101, de 4 de maio de 2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal), a:

I - indústrias e entidades dedicadas à reutilização, ao tratamento e à reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional;

II - projetos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, prioritariamente em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda;

III - empresas dedicadas à limpeza urbana e a atividades a ela relacionadas.

Art. 45. Os consórcios públicos constituídos, nos termos da Lei no 11.107, de 2005, com o objetivo de viabilizar a descentralização e a prestação de serviços públicos que envolvam resíduos sólidos, têm prioridade na obtenção dos incentivos instituídos pelo Governo Federal.

Art. 46. O atendimento ao disposto neste Capítulo será efetivado em consonância com a Lei Complementar nº 101, de 2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal), bem como com as diretrizes e objetivos do respectivo plano plurianual, as metas e as prioridades fixadas pelas leis de diretrizes orçamentárias e no limite das disponibilidades propiciadas pelas leis orçamentárias anuais.

## CAPÍTULO VI

### DAS PROIBIÇÕES

Art. 47. São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos:

I - lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;

II - lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;

III - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;

IV - outras formas vedadas pelo poder público.

§ 1º Quando decretada emergência sanitária, a queima de resíduos a céu aberto pode ser realizada, desde que autorizada e acompanhada pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e, quando couber, do Suasa.

§ 2º Assegurada a devida impermeabilização, as bacias de decantação de resíduos ou rejeitos industriais ou de mineração, devidamente licenciadas pelo órgão competente do Sisnama, não são consideradas corpos hídricos para efeitos do disposto no inciso I do caput.

Art. 48. São proibidas, nas áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos, as seguintes atividades:

I - utilização dos rejeitos dispostos como alimentação;

II - catação, observado o disposto no inciso V do art. 17;

III - criação de animais domésticos;

IV - fixação de habitações temporárias ou permanentes;

V - outras atividades vedadas pelo poder público.

Art. 49. É proibida a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à sanidade vegetal, ainda que para tratamento, reforma, reúso, reutilização ou recuperação.

## TÍTULO IV

### DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS E FINAIS

Art. 50. A inexistência do regulamento previsto no § 3º do art. 21 não obsta a atuação, nos termos desta Lei, das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

Art. 51. Sem prejuízo da obrigação de, independentemente da existência de culpa, reparar os danos causados, a ação ou omissão das pessoas físicas ou jurídicas que importe inobservância aos preceitos desta Lei ou de seu regulamento sujeita os infratores às sanções previstas em lei, em especial às fixadas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”, e em seu regulamento.

Art. 52. A observância do disposto no caput do art. 23 e no § 2º do art. 39 desta Lei é considerada obrigação de relevante interesse ambiental para efeitos do art. 68 da Lei nº 9.605, de 1998, sem prejuízo da aplicação de outras sanções cabíveis nas esferas penal e administrativa.

Art. 53. O § 1º do art. 56 da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 56. ....

§ 1º Nas mesmas penas incorre quem:

I - abandona os produtos ou substâncias referidos no caput ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança;

II - manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento.

.....” (NR)

Art. 54. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observado o disposto no § 1º do art. 9º, deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de publicação desta Lei.

Art. 54. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos



e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, nos termos do art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para os quais ficam definidos os seguintes prazos: (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)

I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais; (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

II - até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes; (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

III - até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

IV - até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010. (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

§ 1º (VETADO). (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

§ 2º Nos casos em que a disposição de rejeitos em aterros sanitários for economicamente inviável, poderão ser adotadas outras soluções, observadas normas técnicas e operacionais estabelecidas pelo órgão competente, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais. (Incluído pela Lei nº 14.026, de 2020)

Art. 55. O disposto nos arts. 16 e 18 entra em vigor 2 (dois) anos após a data de publicação desta Lei.

Art. 56. A logística reversa relativa aos produtos de que tratam os incisos V e VI do caput do art. 33 será implementada progressivamente segundo cronograma estabelecido em regulamento. (Regulamento)

Art. 57. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 2 de agosto de 2010; 189º da Independência e 122º da República.

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA; Rafael Thomaz Favetti; Guido Mantega; José Gomes Temporão; Miguel Jorge; Izabella Mônica Vieira Teixeira; João Reis Santana Filho; Marcio Fortes de Almeida; Alexandre Rocha Santos Padilha

Este texto não substitui o publicado no DOU de 3.8.201